Kulturtechnische Bücherei

Begründet von Chr. August Vogler

Erster Band

Die Bodenkunde

auf chemisch-physikalischer Grundlage

Von

M. Fleischer

Fünfte, neubearbeitete Auflage

BERLIN
VERLAGSBUCHHANDLUNG PAUL PAREY
Verlag für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwesen
SW 11. Hedemannstraße 10 u 11

1922

Die Bodenkunde

auf

chemisch-physikalischer Grundlage

Von

Professor Dr. Moritz Fleischer

Königl. Preuß. Wirkl. Geh. Oberregierungsrat zu Berlin-Steglitz
Dr. der Landwirtschaft E. h., Kurator der Moorversuchsstation

Fünfte, neubearbeitete Auflage

Mit zwei farbigen Tafeln

BERLIN
VERLAGSBUCHHANDLUNG PAUL PAREY
Verlag für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwesen
SW 11, Hedemannstraße 10 u 11

1922

Vorwort zur fünften Auflage.

Zum ersten Male erscheint die „Bodenkunde auf chemisch-physikalischer Grundlage“ losgelöst aus ihrem früheren Verbande. Die freundliche Aufnahme, die sie als Abschnitt von Voglers „Grundlehren der Kulturtechnik“ seitens ihres Leserkreises gefunden hat, ermutigten ihren Verfasser, bei der Neubearbeitung an dem alten Plan hinsichtlich der Auswahl und Anordnung des Stoffes im Wesentlichen festzuhalten und diesen nur entsprechend den neueren Forschungsergebnissen auf den einschlägigen Arbeitsgebieten zu vervollständigen. Demgemäß soll das Werk in erster Linie ein Lehrbuch für die studierenden Landwirte, Kulturtechniker und Landmesser sein. Bei der sehr verschiedenartigen naturwissenschaftlichen Vorbildung dieser Leser war eine elementare Behandlung insbesondere der chemischen Vorgänge nicht zu vermeiden, jedoch hoffe ich den wissenschaftlichen Charakter des Buches möglichst gewahrt zu haben. Seiner Lehrbestimmung entsprechen die zahlreichen textlichen Hinweise auf vorangegangene Erörterungen.

Abweichend von den meisten bodenkundlichen Werken ist auf mineralogische und geologische Tatsachen schon deswegen näher eingegangen, weil ich den Standpunkt derer teile, die mit Rücksicht auf die besonderen Verhältnisse der landwirtschaftlichen Hochschulen und ihrer geodätischen und kulturtechnischen Abteilungen dem Hörer es ermöglichen wollen, das, was er von Mineralogie und Geologie wissen muß, beim Studium der Bodenkunde sich anzueignen. Daß dadurch das Buch bis zu einem gewissen Grade zum Hand- und Nachschlagebuch wird, dürfte kein Fehler sein, und das sollte durch ein ausführliches Sachverzeichnis noch besonders gefördert werden.

Die Besprechung der geognostisch-agronomischen Bodenkarten glaubte ich bei der großen Bedeutung dieses Unternehmens für alle in Aussicht genommenen Leserkreise gegen früher nicht kürzen zu sollen.

Im Übrigen ist, wie auch in den früheren Auflagen, der fortschreitenden Entwicklung der Kolloidforschung, der Bodenbakterio-

logie, der Moorkunde[1]) und Moorkultur bis in die neueste Zeit Rechnung getragen worden, auch hat die Kennzeichnung der verschiedenen Bodenarten eine, wie der Verfasser hoffen darf, nicht unnützliche Erweiterung erfahren.

[1]) Die Notwendigkeit, entgegen der bisherigen, leider auch von der Preußischen Geologischen Landesanstalt festgehaltenen Aufnahme der Moorböden in die Klasse der Humusböden, den ersteren eine besondere Stellung in der Bodenklassifikation zuzuweisen, glaubte ich bei dieser Gelegenheit besonders hervorheben zu sollen.

M. Fleischer.

Inhalt.

Einleitung.

Einführung in die Bodenchemie.

Erstes Kapitel.

Die Bestandteile der festen Erdrinde.

A. Die gesteinbildenden Mineralien, ihr chemischer Charakter und ihr chemisches Verhalten.

B. Die bodenbildenden Gesteine.

Zweites Kapitel.

Die Vorgänge bei der Bodenbildung.

A Mechanische Vorgange.

B. Chemische Vorgange.

C. Umwandlung der Gesteine in Boden unter dem Einfluß der mechanisch und chemisch wirkenden Krafte.

D. Umwandlung der festen Erdrinde unter dem Einfluß vegetativer Krafte.

Drittes Kapitel.

Die Klassifikation des Bodens und die geognostisch-agronomische Bodenkartierung.

A. Klassifikation des Bodens.

B. Die geognostisch-agronomischen Bodenkarten

Viertes Kapitel.

Die Eigenschaften des Bodens und ihre Beeinflussung durch menschliches Eingreifen.

A. Die physikalischen Bodeneigenschaften.

B. Der Boden als Nahrstoffbehalter für die Pflanzen.

Fünftes Kapitel.

Kennzeichnung der Hauptbodenarten.

Einleitung.

§ 1.

Begriffsbestimmung. Unter *Boden* verstehen wir vom landwirtschaftlichen, forstlichen und kulturtechnischen Standpunkt aus die oberste Schicht der festen Erdrinde, soweit sie fähig ist, höhere Pflanzen hervorzubringen [1]. Besitzt sie hierzu die nötigen Eigenschaften von Natur, so bezeichnet man sie als *Naturboden*, während die Benennung *Kulturboden* in den Fällen am Platz ist, wo menschliches Eingreifen jene Fähigkeit erst erzeugt oder auch nur gesteigert hat. Die Ausdrücke *Wiesen-*, *Wald-*, *Ackerboden* beziehen sich zunächst zwar nur auf die augenblickliche Benutzungsweise eines Bodens, sollen aber nicht selten auch den Zweck bezeichnen, zu dem er seiner *natürlichen Beschaffenheit* nach sich am besten eignet Bei Ackerböden pflegt man noch zwischen „Ackerkrume“ und „Untergrund“ zu unterscheiden und versteht dann unter jener die obere, durch größeren Humusgehalt meist dunkler gefärbte Bodenschicht, soweit sie mit den gewöhnlichen Ackerwerkzeugen bearbeitet und gedüngt wird, unter diesem die unmittelbar darauf folgenden, dem Pflanzenwuchs noch als Nährstoffquelle und namentlich als Wasserbehälter dienenden Schichten [2].

Die Fähigkeit einer Erdschicht, höhere Pflanzen hervorzubringen, ist an gewisse Vorbedingungen geknüpft. Sie verdient im landwirtschaftlichen und forstlichen Sinne nur dann die Bezeichnung „Boden“, wenn sie die zum Gedeihen der Pflanzen nötigen Luft- und Wassermengen enthält und so locker, lose, „erdig“ ist, daß die Pflanzenwurzel in sie eindringen kann. Da ferner alle Pflanzen darauf angewiesen sind, eine größere Anzahl zum Aufbau ihres Leibes notwendiger Stoffe durch die Wurzeln auf-

---

[1] Diese im wesentlichen von F. Wahnschaffe herrührende Erklärung scheint mir in ihrer Einfachheit und Vollständigkeit vor allem vor und nach ihm aufgestellten Begriffsbestimmungen den Vorzug zu verdienen. D. Verf.

[2] Etwas abweichend von dieser Unterscheidung wird auf den Bodenkarten der Preußischen Geologischen Landesanstalt als „Oberkrume“ die Oberflächenschicht bezeichnet, die unter dem Einfluß der natürlichen Verwitterungsagentien (s. u.) eine wesentliche Veränderung erlitten hat, und von der die „Ackerkrume“ meist nur einen Teil bildet, als „Untergrund“ dagegen und weiterhin als „tieferer Untergrund“ die dem gleichen Gestein angehörige, aber von der Verwitterung nicht oder doch weit weniger berührte Schicht.

zunehmen, so müssen die letzteren jene im Boden vorfinden, und zwa
in einer Form, in der sie von ihnen aufgesaugt werden können Beid
Bedingungen erfüllt das harte Gestein, das früher die äußerste Rinde de
Erde bildete, nicht. Mannigfaltige, teils mechanische, teils chemische, teil
biologische Vorgänge mußten in Wirkung treten, um ihren Zusammenhan
zu lockern, ihre Bestandteile in Pflanzennahrung umzuwandeln. Je nac
der Beschaffenheit des Muttergesteins, je nachdem diese oder jene Kräft
in ihrer Wirkung überwogen, entstanden die mannigfaltigen Bodenarten
deren Verschiedenartigkeit deutlich genug in ihrem verschiedenen Verhalte
zur Pflanzenwelt sich ausspricht. Dieselben Kräfte aber, die die Um
wandlung der starren Erdrinde herbeiführten, wirken in dem bereits ge
bildeten Boden unablässig fort, ihn nach dieser oder jener Richtung hi
verändernd, und weitere Umwandlungen werden veranlaßt durch das Ein
greifen menschlicher Tätigkeit, darauf gerichtet, die Eigenschaften de
Bodens durch geeignete Maßnahmen für den Pflanzenwuchs immer günstig
zu gestalten Die Kenntnis aller dieser Dinge fällt in das Gebiet de
Bodenkunde; wir bezeichnen sie daher als die *Wissenschaft von der Ent
stehung des Bodens, von den Umwandlungen, die er durch die Naturkraft
und durch menschliches Eingreifen erfährt, und von seinen für den Pflanze
wuchs wichtigen Eigenschaften*

§ 2.

Die Bildung der Erdrinde. Scheidung von Wasser und Land. Ent stehung der geschichteten Gesteine. Die Oberfläche unserer Erde ist nich
nur in ihrer äußeren Gestaltung, im Verhältnis zwischen Berg und Tal
zwischen Festland und Wasser, sondern auch hinsichtlich des Gefüges un
der Zusammensetzung der festen Erdrinde und damit ihres Verhalten
zum Leben von Pflanze und Tier in immerwährender Wandlung begriffen
Hat schon die kurze Zeitspanne, in der man von einem wissenschaftliche
Erfassen der Naturvorgänge reden kann, genügt, um diese Tatsache fest
zustellen, so erscheint der Schluß nicht unberechtigt, daß im Beginn de
unermeßlichen Zeitabschnittes, in dem die Ausgestaltung unseres Plane
sich vollzog, sein Antlitz und seine innere Beschaffenheit von dem jetzige
Zustand wesentlich verschieden war Und in der Tat führt der astro
nomische Vergleich der Erde mit anderen Weltkörpern, die genaue Be
stimmung ihrer Gestalt, die geologische und physikalische Erforschun
des Erdinnern zu der fast unabweislichen Anschauung, daß sie einst ei
feurig-flüssiger Ball gewesen ist, dessen Oberfläche sich allmählich abkühlt
und zu einer an Stärke immer mehr zunehmenden festen Rinde von wah
scheinlich sehr gleichmäßiger Beschaffenheit sich verdichtete. Die dure
weitere Abkühlung hervorgerufene ungleichmäßige Zusammenziehung de
Erdkerns und der Erdrinde im Verein mit den im Innern eingeschlossene

Gasen riefen später Druckwirkungen hervor, die sich in Erhebungen und Senkungen („Faltungen") der Oberflächenschicht äußerten und stellenweise zu einem Zerreißen der letzteren und zum Hervordringen der noch flüssigen Massen des Erdinnern führten. Erlitt schon hierdurch die gleichmäßige Zusammensetzung der Oberflächenschicht eine Störung, so wurden die entstandenen *Niveauunterschiede* die Veranlassung zur Scheidung von dem in frühester Zeit den Erdball gleichmäßig bedeckenden Wasser und dem festen Land und weiterhin zu zwar allmählich erfolgenden, aber tief eingreifenden Umgestaltungen der ursprünglichen Gesteinsmasse. Sie ermöglichten es dem der Tiefe zustrebenden Wasser, eine großartige Zerstörungstätigkeit auf die Gesteine auszuüben. Der Gewalt seines Stoßes, dem unablässigen Nagen des fallenden Tropfens, dem gewaltigen Druck des in den Rissen sich bildenden Eises widersteht auf die Dauer nicht das festeste Gestein. Des Zusammenhanges mit dem Muttergestein beraubt, durch ihre eigene Schwere, vom Eise der Gletscher, vom reißenden Gebirgswasser fortgeschoben, dabei durch gegenseitige Reibung zu immer feineren Teilchen zermahlen und durch die chemische Wirkung von Wasser, Kohlensäure und Sauerstoff in ihrer Zusammensetzung immer mehr verändert, wurden die Zerstörungsprodukte je nach ihrer Größe und Schwere bald früher, bald später an tieferen Stellen abgesetzt und bilden hier, das ursprüngliche Gestein bedeckend, meist *schichtenförmige*, allmählich wieder zu kompaktem Gestein erhärtende Ablagerungen, die in ihrer Zusammensetzung wie in ihrem inneren Gefüge untereinander und von ihrem Muttergestein sich wesentlich unterscheiden [1]).

---

[1]) Unter Hinweis auf die späteren Ausführungen (§ 35) möge schon hier über die üblichen Vorstellungen von der Gebirgsbildung noch folgendes bemerkt werden.

Mit der Wärmeausstrahlung aus dem glühenden Erdball in den eiskalten Weltenraum mußte eine Erkaltung und allmähliche Erstarrung der äußersten Schicht des Erdkörpers eintreten. Die bei weiterer Abkühlung stattfindende Zusammenziehung der fest gewordenen Rinde erzeugte Spannungen, die schließlich zu stellenweisem Zerreißen führten. Durch die entstehenden Spalten ihres Zusammenhangs beraubt, konnten dann größere oder kleinere Gesteinsschollen einsinken, und von ihrer Oberfläche aus erschien die in ihrer ursprünglichen Höhenlage verbliebene Umgebung als Gebirge. Entsprechend ihrer Entstehungsweise bezeichnet man sie als „*Bruchgebirge*".

Die in weit größerem Umfang vorkommenden, oft in langen Ketten auftretenden „*Faltengebirge*" entstanden unter dem Einfluß der Abkühlung und Zusammenziehung des Erdinnern. Hierbei mußte die äußerste, bereits fest gewordene Rinde wie ein zu weit gewordener Mantel oder wie die Rinde eines Apfels beim Eintrocknen und Schwinden des Fruchtfleisches Falten schlagen. An dieser Faltung nahmen auch die Gesteine teil, die sich später im Laufe der Zeiten in *Schichten* dem Urgestein aufgelagert hatten. Sie verloren die ursprünglich horizontale Lagerung und nahmen allmählich eine geneigte, oft senkrechte

§ 3.

Geologische Perioden und Formationen. Vor dem Auftreten der ersten lebenden Wesen auf der Erde bildete nach unserer heutigen Vorstellung das unmittelbar aus dem feurig-flüssigen Zustand hervorgegangene „Urgestein“ die äußere Erdrinde. Im Lauf ungemessener Zeiträume wurde diese allmählich von geschichteten Gesteinen überdeckt, die, hauptsächlich entstanden aus der zerstörenden, abtragenden und wieder aufbauenden Tätigkeit des Wassers, aus den immer mehr zerkleinerten und dann wieder durch gewisse Bindemittel verklebten Trümmern des Urgesteins sich zusammensetzten. Zum Unterschied von den kompakten Urgesteinen oder „Massengesteinen“ bezeichnet man sie als „Trümmer“ oder „klastische“ Gesteine (von dem griechischen Wort κλαστός, zerbrochen). Nur an vereinzelten Stellen lagen die aus dem Erdinnern durch vulkanische Tätigkeit aufgestiegenen Gesteinsmassen, die übergelagerten Gesteinschichten durchsetzend, zutage. Den bei weitem größten Teil der jetzigen festen Erdoberfläche nehmen die vom bewegten Wasser oder Eis zurückgelassenen, allermeist geschichteten Gesteine ein. In ihrer Zusammensetzung und ihrem Verhalten weisen sie große Unterschiede auf. Je nach der Aufeinanderfolge der Vorgänge, bei denen die geschichteten oder „Sedimentargesteine“ entstanden, unterscheidet man in ihrer Entwicklungsgeschichte verschiedene Zeiträume oder *geologische Perioden*. Jede geologische Periode umschließt verschiedene Gesteinsgruppen, die sich während ihrer Dauer gebildet haben: *geologische Formationen.* Jede Formation umfaßt Gesteine sehr verschiedener Art, erhält aber oft ihren Namen von dem Gestein, das in ihr vorwiegt oder für den Menschen besonders wichtig ist. So z. B. die „Steinkohlenformation“ („Karbon“), die nicht nur Steinkohlenflöze[1]), sondern auch Kalkstein, Sandstein, Schieferton enthält,

(„auf dem Kopf stehende“), ja bisweilen überkippte Stellung ein. In letzterem Fall wurden die früheren unteren jetzt die oberen Schichten.

Abgesehen von einzelnen plötzlich erfolgenden Naturereignissen, wie Erdbeben, vulkanischen Erscheinungen, Bergstürzen u. a., dürften alle die gewaltigen Umwandlungen in den Lagerungsverhältnissen der Gesteinsmassen sich allermeist langsam, zumeist fast unmerklich während sehr langer Zeiträume vollzogen haben.

Bruchgebirge und Faltengebirge rechnet die Geologie zu den „tektonischen“ (durch Bewegungen von Teilen der Erdrinde hervorgerufenen) Gebirgen. Außer ihnen entstanden und entstehen noch jetzt aus vulkanischer Tätigkeit durch Hervordringen flüssiger Gesteinsmassen aus dem Erdinnern und durch deren Anhäufung über der Erdoberfläche die *„Vulkanischen Gebirge“*.

Endlich verdanken manche Gebirgszüge, die man als „Erosionsgebirge“ bezeichnet, ihren Ursprung der aushöhlenden, „talbildenden“ Wirkung des fließenden Wassers (§ 41) ihre Entstehung.

[1]) Unter „Flözen“ versteht man bergmännisch abbauwürdige Gesteinsschichten.

oder „Buntsandsteinformation", der neben Sandstein Ton-, Kalk- und Steinsalzlager angehören. Häufig kommt ein und dieselbe Gesteinsart in verschiedenen Formationen vor, so Kalkstein, Sandstein, Tongesteine Bei der Bestimmung der Zugehörigkeit dieser oder jener Gesteinsgruppe zu einer geologischen Periode oder Formation läßt sich die Geologie durch die in ihr gefundenen Zeugen pflanzlichen und tierischen Lebens, durch Versteinerungen oder Abdrücke leiten („Leitfossilien")[1]. Frei von deutlichen organischen Resten sind die ältesten Gesteinsschichten (s die folgende Übersicht, das „Urgneisgebirge" und die kristallinischen Schiefer, entweder weil die während ihrer Bildung herrschende hohe Temperatur pflanzliches und tierisches Leben nicht aufkommen ließ, oder weil vorhandene Reste von Lebewesen später durch heiße Dämpfe vernichtet oder so weit verkohlt wurden, daß von ihnen nur Kohlenstoff in Form von Graphit, einem diesen Gesteinen vielfach beigemengten Mineral, zurückblieb.

Im folgenden sind die von der Geologie augenblicklich angenommenen geologischen Perioden und Formationen übersichtlich geordnet und Angaben über die wichtigsten Gesteinsarten[2] der letzteren beigefügt worden.

I Zeitalter. ***Die Urzeit der Erde*** (Archäische oder primitive Periode).

1. *Urgneis-* („Laurentinische")[3] *Formation* Gneis, stellenweise in Granit übergehend Granulit, Quarzit, kristalliner Kalk, Graphit
2. *Kristalline Schieferformation* („huronische" Formation): Glimmerschiefer, Urtonschiefer („Phyllit"), Quarzit, Kalke, Graphitschiefer

II. Zeitalter ***Das Altertum der Erde*** (Paläozoische Periode).

Auftreten der ersten höheren Lebewesen.

1. *Silurische Formation* (gliederlose Tiere, Tange): Grauwacke, Tonschiefer, Quarzite, Kalke
2. *Devonische Formation* (Fische, Gefäßkryptogamen) Grauwacke, Kalke, Sandsteine.

[1]) Unter Leitfossilien versteht man die Überreste solcher tierischer und pflanzlicher Wesen, die ausschließlich bestimmten Formationen angehören, also für diese kennzeichnend sind. Im allgemeinen laßt sich sagen, daß, soweit deutlich erkennbare organisierte Eigenwesen aufgefunden werden, die tieferen, also älteren Schichten solche niederer, die oberen, später entstandenen solche höher entwickelter Art aufweisen

[2]) Näheres über die Gesteine selbst findet sich in Kapitel I.

[3]) Die Bezeichnungen: laurentinische, huronische, silurische, devonische, permische, Jura-Wealdon-Formation sind den Namen der Landschaften entnommen, in denen diese Formationen zuerst gründlicher untersucht wurden, oder in denen sie besonders deutlich ausgebildet auftreten.

3. *Steinkohlen-Formation* (Karbon) (erste Amphibien, Farne und andere Kohlenpflanzen): Kalke, Sandsteine, Schieferton, Kohlenflöze.
4. *Dyas- oder permische Formation* (Fische, Amphibien, Reptile, Farne, Koniferen):
   a) Rotliegendes: Konglomerate, Sandstein, Letten.
   b) Zechsteinformation: Kalkstein, Gips, Steinsalz, Kupferschiefer.

III. Zeitalter. **Das Mittelalter der Erde** (Mesozoische Periode)
(Neben den früher genannten Organismen: Saurier, die ersten Säugetiere und Vögel, Koniferen, Zykadeen.)

1. *Trias-Formation* (oder Salzgebirge) (Froschsaurier, die ersten Ammoniten, Vögel und Säugetiere):
   a) Buntsandstein-Formation: Sandsteine, Tone, Mergel, Gips, Steinsalz und dessen Begleitsalze.
   b) Muschelkalk-Formation: Kalkstein, Dolomit, Gips, Steinsalz.
   c) Keuper-Formation: bunte Mergel, Gips, Sandstein, schiefrige Letten („Lettenkohle“).
2. *Jura-Formation* („Oolithengebirge“) (Ammoniten, Belemniten, Korallen, Fisch- und Flugsaurier, erste Vögel [Archaeopterix]), (Kryptogamen, Koniferen, Zykadeen, die ersten Laubhölzer):
   a) Lias oder schwarzer Jura: bituminöse Schiefer (Posidonienschiefer), Kalksteine, Sandsteine, oolithische (aus erbsenförmigen Gesteinsteilchen bestehende) Eisenerze.
   b) Brauner oder mittlerer Jura: Sandsteine, dunkle Tone, Eisenoolithe.
   c) Weißer oder oberer Jura: helle und Korallenkalke, Mergel, Dolomite.
   d) (Nur stellenweise vorkommend) Wealden-Formation: Kalkstein, Sandstein, Ton (bisweilen Kohlen).
3. *Kreide-Formation* („Quadersandsteingebirge“) Sandstein („Grünsandstein“), Kalksteine („Planerkalk“, Kreide).

IV. Zeitalter: **Die Neuzeit der Erde** (Känozoische Periode).
(Säugetiere, Mensch — zahlreiche Laubhölzer).

1. *Ältere Tertiär-Formation* („älteres Braunkohlengebirge“)
   a) Eozän: Kalke, Tone. (Tropische Flora in Zentraleuropa.)
   b) Oligozän: Gips, Tone, Braunkohlen, Sandstein (Molasse[1]), bernsteinführende Schichten im Samland]).

---

[1]) Molasse, d. i. eine Ablagerung von Sandsteinen und Konglomeraten (S. 64).

2. *Jüngere Tertiär-Formation* („jüngeres Braunkohlengebirge“):
   a) M i o z ä n. Kalke, Sandstein, Braunkohlen der Mark, Meeresmolasse
   b) P l i o z ä n: Schotter, Gerölle, Sand (Mastodon, Hirsche, Affen).
3. *Quartär-Formation* („aufgeschobenes Gebirge“ und Schwemmland)
   a) D i l u v i u m (erste Spuren des Menschen in Europa. Mammut, Höhlenbär, Renntier, Pferd, Riesenhirsch u. a.) Zum Teil Gletscher-Geschiebe („erratische Blöcke“), Zerstörungsprodukte der älteren Erdrinde verschiedenster Größe und verschiedenster Art (Granit, Gneis, Syenit, Porphyr u. a.) und deren mannigfach veränderte, aber meist kalkhaltige Abkömmlinge, zum Teil Ablagerungen der damaligen Flußläufe Im norddeutschen Flachlande unterscheidet man [1]):
      α) u n t e r e s D i l u v i u m. wechsellagernde Schichten von Sand und geschiebeführendem und geschiebefreiem Mergel,
      β) o b e r e s D i l u v i u m. nebeneinander auftretender Mergel, Lehm, Ton, Sand, Grand.

[1]) Die Gliederung des Diluviums in unteres, oberes und Taldiluvium entspricht der bei der geognostisch-agronomischen Bodenkartierung (s. Kap. III A) innegehaltenen Unterscheidung. Die neuere Forschung teilt die dem Diluvium Norddeutschlands angehörigen Gebilde in folgende Gruppen:

In den geologisch-agronomischen Karten bezeichnet als		
Unteres Diluvium	1. Produkte der ersten Eiszeit (s Kap II):	Grande, Sande, Tone, Geschiebemergel, Grande, Sande, Tone
	2 Produkte der ersten Interglazialzeit:	Sande, Grande, Wiesenkalke, Kalktuffe, Tone, Moorbildungen, Diatomeenerde und andere Reste pflanzlichen und tierischen Lebens.
	3 Produkte der zweiten (Haupt-) Eiszeit 4. Produkte der zweiten Interglazialzeit:	Die gleichen wie bei der ersten Eiszeit und Interglazialzeit
Oberes Diluvium	5 Produkte der letzten Eiszeit	Geschiebemergel, Endmoränen, Grande, Sande, Tone
	6 Produkte der Abschmelzperiode der letzten Eiszeit:	H ö h e n d i l u v i u m: Geschiebesand, Decksand, Deckton. T a l d i l u v i u m (gleichaltrig mit dem Höhendiluvium): Talsand, Talton.

γ) Taldiluvium (früher „Altalluvium“): die aus dem oberen Diluvium stammenden, von diluvialen Strömen auf Plateaus oder in den Niederungen abgesetzten, steinfreien, ganz horizontalen Sandablagerungen („Talsande“, manchmal auch als „Heidesand“ bezeichnet).

b) Alluvium: Neue, noch jetzt entstehende Bildungen des Süß- und Salzwassers, des Windes („äolische“) und des pflanzlichen und tierischen Lebens; Flußsand und Geroll, Ton, Lehm, Moorbildungen, Wiesenkalk, Kieselgur, Flugsand.

Einführung in die Bodenchemie.

§ 4.

Zusammengesetzte und einfache Körper. Ein an feuchter Luft liegendes Stück metallisches Eisen erleidet bald eine auffallige Veränderung seiner stofflichen Beschaffenheit: es verliert den Metallglanz und geht allmählich vollständig in eine rotbraune, leicht zerreibliche Masse uber, die unter dem Namen „Eisenrost" bekannt ist. Der Eisenrost hat ein großeres Gewicht als das Eisen, woraus es hervorging. Bei seiner Umwandlung in Eisenrost muß also das Eisen aus der feuchten Luft etwas aufgenommen haben.

In der Tat gelingt es der chemischen Untersuchung, nachzuweisen, daß der Eisenrost neben Eisen noch zwei Korper enthält, die im freien Zustande luftformig sind. Der eine, ein farbloses, geruch- und geschmackloses Gas, besitzt die Fähigkeit, einen hineingebrachten, nur glimmenden Span wieder zu entflammen Er wird *Sauerstoff* genannt. Der andere, äußerlich nicht vom Sauerstoff verschieden, ist nicht imstande, den Verbrennungsprozeß zu unterhalten oder gar lebhafter zu gestalten Dagegen ist er selbst brennbar. Er heißt *Wasserstoff*. Der Eisenrost ist also ein zusammengesetzter Körper, er besteht aus Eisen, Sauerstoff und Wasserstoff. Die Eigenschaften dieser Stoffe treten im Eisenrost nicht mehr hervor. Er ist eine *chemische Verbindung;* Eisen, Sauerstoff und Wasserstoff sind seine *chemischen Bestandteile.*

Wird Kalkstein im Kalkofen stark erhitzt, so tritt gleichfalls eine erhebliche stoffliche Veränderung ein. Der feste Stein verwandelt sich in eine mürbe Masse von laugenhaftem Geschmack und eigentumlichem Verhalten gegen Wasser. Der „gebrannte" Kalk besitzt ein *geringeres* Gewicht als der Kalkstein, der ihn lieferte. Beim Erhitzten des Kalksteins ist also etwas aus ihm entwichen Durch geeignete Maßnahmen kann man den beim „Kalkbrennen" sich absondernden Stoff auffangen. Er ist ein luftformiger Körper, äußerlich von der atmosphärischen Luft, dem Sauerstoff und dem Wasserstoff nicht verschieden, aber weit schwerer als alle diese Luftarten, nicht brennbar und nicht fahig, den Verbrennungsprozeß zu unterhalten Ein hineingebrachter brennender Span erlischt augenblicklich.

Man nannte dieses Gas früher Kohlensäure, jetzt *Kohlendioxyd.*

Der Kalkstein ist also ein zusammengesetzter Körper; er spaltet sich beim Erhitzen in *Kalk* und *Kohlendioxyd*. Aber auch diese beiden Körper sind zusammengesetzt. Der gebrannte Kalk läßt sich in zwei Korper von ganz anderen Eigenschaften, nämlich in *Sauerstoff* und ein silberweißes, zähes, hämmerbares Metall, genannt *Calcium*, zerlegen Letzteres ist brennbar und wandelt sich beim Verbrennen durch Aufnahme von Sauerstoff wieder in gebrannten Kalk (Calciumoxyd) um. Auch das Kohlendioxyd kann man noch weiter spalten, in *Sauerstoff* und einen festen Korper, der den Namen *Kohlenstoff* trägt, brennbar ist und beim Verbrennen Kohlendioxyd liefert.

Somit gelingt es, durch eine Zerlegung oder eine „chemische Analyse" aus dem Kalkstein drei ganz verschiedenartige Korper. Calcium, Kohlenstoff und Sauerstoff abzusondern Der Kalkstein ist eine *chemische Verbindung*, seine *chemischen Bestandteile* sind Calcium, Kohlenstoff und Sauerstoff.

Schon diese Erorterungen lassen erkennen, daß die chemischen Verbindungen wesentlich verschieden sind von den *Mischungen* oder *Gemengen* In diesen kann man die Mischungsbestandteile allermeist schon mit dem bloßen oder dem verschärften Auge erkennen; in ihnen finden sich die Eigenschaften der Gemengteile wieder, und sie lassen sich durch mechanische Mittel leicht zerlegen. Eine chemische Verbindung bildet dagegen eine in sich ganz gleichartige Masse, die Eigenschaften ihrer chemischen Bestandteile sind in ihr nicht mehr wahrzunehmen, sie treten erst wieder hervor, wenn die Verbindung chemisch zersetzt wird.

Die Körper Eisen, Calcium, Kohlenstoff, Sauerstoff noch weiter zu zerlegen, ist bis jetzt nicht gelungen. Nach dem augenblicklichen Stande unseres Wissens müssen wir sie als einfache Korper ansehen Auch bei der Analyse der zahlreichen übrigen in der Natur vorkommenden chemischen Verbindungen gelangt man schließlich zu Korpern, die allen Bestrebungen, sie weiter zu spalten oder etwas Andersartiges von ihnen abzutrennen, widerstehen. Man nennt sie daher *einfache Korper*, auch *Grundstoffe* oder *Elemente*. Derartige Stoffe kennt man augenblicklich etwa 80 [1]) Sie finden sich in der Tabelle auf S. 11 verzeichnet

---

[1]) Ob damit die Zahl der einfachen Körper abgeschlossen ist, erscheint sehr fraglich gegenuber der Tatsache, daß ein nicht unbeträchtlicher Teil der jetzt bekannten Elemente erst durch die verschärften Untersuchungsmethoden der neueren Zeit aufgefunden wurde Auf der anderen Seite ist es nicht ausgeschlossen, daß es in Zukunft gelingen wird, Korper, die wir augenblicklich als Elemente ansehen, noch weiter zu zerlegen. Ja eine große Anzahl neuerer Erfahrungen macht es wenigstens nicht unwahrscheinlich, daß alle oder fast alle sogenannten chemischen Elemente auf einen oder mehrere Urstoffe zurückzufuhren sind.

Zusammenstellung der augenblicklich bekannten Elemente mit Angabe ihres Zeichens („Symbols“)[1], ihres Atomgewichtes (bezogen auf Wasserstoff = 1,00)[1] und ihrer Wertigkeit[1])

Name der Elemente	Zeichen	Atomgewicht	Wertigkeit
a) Nichtmetalle oder Metalloide.			
Antimon (Stibium)	Sb	119,6	3, 5
Argon	Ar	40	?
Arsen	As	74,9	3, 5
Bor	B	10,9	3
Brom	Br	79,76	1, 3, 5, 7
Chlor	Cl	35,37	1, 3, 5, 7
Fluor	F	19,0	1
Helium	He	4	?
Jod	J	126,9	1, 3, 5, 7
Kohlenstoff (Carbo, Carboneum)	C	11,97	4
Krypton	Kr	81	?
Neon	Ne	20	?
Phosphor	P	30,96	3, 5
Sauerstoff (Oxygenium)	O	15,96	2
Schwefel (Sulfur)	S	31,98	2, 4, 6
Selen	Se	78,9	2, 4, 6
Silicium	Si	28,3	4
Tellur	Te	127,6	2, 4, 6
Stickstoff (Nitrogenium)	N	14,01	3, 5
Wasserstoff (Hydrogenium)	H	1	1
Wismut (Bismuthum)	Bi	208,4	3, 5
Xenon	Xe	127	?
b) Metalle.			
Aluminium	Al	27,0	4
Baryum	Ba	136,8	2
Beryllium	Be	9,0	2
Blei (Plumbum)	Pb	206,4	2, 4
Cadmium	Cd	111,7	2
Cäsium	Cs	132,5	1
Calcium	Ca	39,9	2
Cer	Ce	140,0	4
Chrom	Cr	52,0	4, 6
Eisen (Ferrum)	Fe	55,9	2, 4, 6
Erbium	Er	165	2
Gadolinium	Gd	156	?
Gallium	Ga	69,8	4
Germanium	Ge	72	?
Gold (Aurum)	Au	196,7	1, 3
Indium	In	113,4	3
Iridium	Ir	192,3	2, 4, 6
Kalium	K	39,04	1
Kobalt (Cobaltum)	Co	59,6	2, 4
Kupfer (Cuprum)	Cu	63,3	2
Lanthan	La	138,0	4
Lithium	Li	7,01	1
Magnesium	Mg	24,3	2
Mangan	Mn	54,8	2, 4, 6, 7
Molybdän	Mo	95,8	6
Natrium	Na	22,99	1
Neodym	Nd	143	3
Nickel	Ni	58,6	2, 4
Niob	Nb	93	5
Osmium	Os	189,5	2, 4, 6, 8
Palladium	Pd	106,2	2, 4, 6
Platin	Pt	194,3	2, 4, 6
Praseodym	Pr	139	3
Quecksilber (Hydrargyrum)	Hg	199,8	2
Radium	Ra	225	?
Rhodium	Rh	104,1	2, 4, 6
Rubidium	Rb	85,2	1
Ruthenium	Ru	103,6	2, 4, 6, 8
Samarium	Sa	149	3
Scandium	Sc	44,0	?
Silber (Argentum)	Ag	107,66	1
Strontium	Sr	87,3	2
Tantal	Ta	182,0	5
Terbium	Tb	159	?
Thallium	Tl	202,6	1, 3
Thorium	Th	231	4
Thulium	Tu	169	?
Titan	Ti	48,0	4
Uran	U	239,0	4, 6
Vanadin	V	51	3, 5
Wolfram	Wo	183,5	6
Ytterbium	Yb	172	?
Yttrium	Y	88	4
Zink	Zn	65,1	2
Zinn (Stannum)	Sn	118	4
Zirkonium	Zr	90	4

[1]) Die Erklärung dieser Bezeichnung s. u.

Die Elemente Chlor, Fluor, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, ferner von den selteneren Argon, Helium, Krypton, Neon und Xenon sind unter gewöhnlichen Verhältnissen luftförmige Körper (Gase), Brom und Quecksilber sind Flüssigkeiten, alle übrigen Elemente feste Korper.

Um die Übersicht zu erleichtern, teilt man die Elemente gewöhnlich in zwei Klassen: in *Metalle* und *Nichtmetalle* oder „Metalloide" [1]) Die Metalle zeigen „Metallglanz" und sind gute Leiter fur Warme und Elektrizität, Eigenschaften, die den Nichtmetallen abgehen oder doch in geringerem Grade innewohnen. Ihre Verbindungen mit Sauerstoff besitzen zumeist basischen Charakter Die Nichtmetalle gehen mit Wasserstoff weit leichter als die Metalle Verbindungen ein, und diese sind in der Regel gasförmige Körper. Ihre Sauerstoffverbindungen bilden mit Wasser allermeist zusammengesetzte Körper von saurem Charakter (Säuren, s. u).

Bei den Metallen unterscheidet man zwischen leichten (spez Gewicht unter 5) und schweren Metallen.

Die leichten Metalle teilt man gewöhnlich ein in

Metalle der Alkalien [2]): Kalium, Natrium, außerdem Rubidium. Cäsium, Lithium;

Metalle der alkalischen Böden [2]): Calcium, Baryum, Strontium, Magnesium;

Metalle der Erden [2]): Aluminium, außerdem Zirkonium, Thorium u a.

§ 5.

Atom, Molekul, Atomgewicht, Molekulargewicht. Lassen sich die Körper, die wir als Elemente bezeichnen, mit den uns bekannten Hilfsmitteln auch nicht in *verschiedenartige* Stoffe zerlegen, so kann man sie doch durch mechanische Mittel in kleinere *gleichartige* Teile spalten. Aller Wahrscheinlichkeit nach erreicht aber die Teilbarkeit schließlich

---

[1]) Die Einteilung der Elemente in Metalle und Nichtmetalle ist die althergebrachte, und sie genügt für die Zwecke dieses Buches Es darf aber nicht verschwiegen werden, daß eine scharfe Grenze zwischen beiden Klassen sich nicht ziehen läßt. Manche Elemente, die wir ihren äußeren Eigenschaften nach zu den Metallen rechnen müßten, und die in den Lehrbuchern der Mineralogie auch den Metallen zugesellt werden, z. B. das Arsen, Antimon, Wismut, stehen in ihrem chemischen Verhalten dem Stickstoff und Phosphor so nahe, daß man vom chemischen Standpunkte aus sie in die Klasse der Nichtmetalle verweisen muß. Die neuere Chemie hat das alte Einteilungsprinzip fallen lassen. Sie ordnet die Elemente nach gewissen Eigenschaften, die mit der Größe des Atomgewichts (s. u.) in enger Bezeihung zu stehen scheinen („Naturliches" oder „Periodisches" System).

[2]) Unter „Alkalien", „alkalischen Erden" und „Erden" versteht man die Oxyde oder Hydroxyde (§ 10) der Alkalimetalle, alkalischen Erdmetalle und Erdmetalle.

eine Grenze Nach unserer heutigen („atomistischen“) Anschauung bestehen die Elemente aus sehr kleinen (aber nicht etwa unendlich kleinen) Teilchen, die sich durchaus nicht weiter zerlegen lassen und daher *Atome* (von ἄτομος = unteilbar) genannt werden. Sie besitzen ein bestimmtes unveränderliches Gewicht, eine bestimmte Größe und alle fur das Element kennzeichnenden Eigenschaften. Jedes Element besteht aus gleichartigen, gleich großen und gleich schweren Atomen; die Atome verschiedener Elemente sind verschiedenartig, verschieden groß und verschieden schwer. Das *absolute* Gewicht der verschiedenen Atome kennen wir nicht, wohl aber kann man bestimmen, wievielmal schwerer das Atom irgendeines Elementes ist als das eines anderen. So wissen wir z. B., daß ein Atom Sauerstoff 15,96 (rund 16) mal, ein Atom Kohlenstoff 11,97 (rund 12) mal, ein Atom Eisen 55,9 (rund 56) mal schwerer ist als ein Atom Wasserstoff. Da das Wasserstoffatom von allen bekannten Atomen das geringste Gewicht besitzt, so bezieht man das Gewicht aller übrigen Atome auf das des Wasserstoffatoms als Einheit. Man setzt das Gewicht eines Wasserstoffatoms gleich 1, dann wird das Gewicht des 15,96 mal schwereren Sauerstoffatoms durch die Zahl 15,96, das des Kohlenstoffatoms durch die Zahl 11,97, das des Eisenatoms durch die Zahl 55,9 ausgedruckt. Diese Zahlen nennt man schlechtweg *Atomgewichte*[1])

Die Atomgewichte der einzelnen Elemente sind auf der Übersichtstabelle (S. 11) angegeben.

Vereinigt sich ein Element mit einem anderen, so lagert sich nach der atomistischen Anschauung im einfachsten Falle immer ein Atom des einen mit einem Atom des anderen Elementes aneinander. So tritt bei Vereinigung des Calciums mit Sauerstoff immer ein Atom Calcium mit einem Atom Sauerstoff zu einer Atomgruppe Calciumoxyd (s. o.) zusammen. Es konnen aber auch ein Atom eines Elementes mit zwei oder mehr und ferner mehrere Atome eines Elementes mit mehreren Atomen eines anderen Elementes und endlich ein oder mehrere Atome von mehr als zwei Elementen sich aneinanderlagern. So besteht z B. Kohlendioxyd (s. o.) aus Atomgruppen, deren jede 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atome Sauerstoff, das Eisenoxyd aus Atomgruppen, deren jede 2 Atome Eisen und 3 Atome Sauerstoff, der Eisenrost aus Atomgruppen, deren jede 2 Atome Eisen, 6 Atome Sauerstoff und 6 Atome Wasserstoff enthält

Diese Atomgruppen bezeichnet man als *Molekule* (von molecula = sehr kleine Masse). Sie bilden die kleinsten, als solche nicht mehr zerlegbaren Teilchen einer chemischen Verbindung. Jede chemische Verbindung besteht aus lauter gleichartigen Molekulen; das Gewicht jedes Molekuls, das *Molekulargewicht*, setzt sich aus dem Gewicht der darin enthaltenen Atome

---

[1]) Zutreffender ware die Bezeichnung r e l a t i v e A t o m g e w i c h t e.

zusammen. Ist z. B. das Atomgewicht des Kohlenstoffs 11,97, das des Sauerstoffs 15,96, so ist das Molekulargewicht des (aus 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff bestehenden) Kohlendioxyds $11,97 + 2 \times 15,96 = 43,89$[1])

Zahlreiche Erscheinungen führen zu folgenden Anschauungen uber die innere Beschaffenheit des Stoffs·

Auch in den einfachen Korpern (Elementen) sind mehrere, meistens zwei Atome zu fester gefugten, als Molekule zu bezeichnenden Gruppen vereinigt.

Weder die einfachen noch die zusammengesetzten Stoffe sind in sich absolut zusammenhängende Massen Vielmehr sind in beiden die einzelnen Molekule durch Zwischenraume voneinander getrennt, die bisweilen großer als die Molekule selbst, aber so klein sind, daß sie ebensowenig wie die Atome und Molekule für das leibliche Auge sichtbar sind [2]). Die Molekule eines Korpers sind daher frei beweglich und aneinander verschiebbar, und zwar um so leichter, je großer die Zwischenräume sind [3]). (Ihre unter gewohnlichen Verhaltnissen stets vorhandene Bewegung, den Anprall der schwingenden Molekule gegen den fühlenden Finger empfinden wir als Wärme [Lehre der „mechanischen Wärmetheorie"])

§ 6.

Das Gesetz der „konstanten Proportionen". Ist die Vorstellung, die wir uns uber die Natur der Atome und über den Vorgang der chemischen Verbindung gebildet haben, richtig, so muß notwendig die Vereinigung zweier oder mehrerer Elemente zu einer chemischen Verbindung stets nach ganz bestimmten unveränderlichen Gewichtsverhältnissen erfolgen, namlich in dem Verhaltnis der in die Verbindung eintretenden Atomgewichte

Wenn z B. ein Atom Calcium (Atomgewicht 39,9) mit einem Atom Sauerstoff (Atomgewicht 15,96) sich vereinigt, so kommen in einem Molekül Calciumoxyd auf 39,9 Gewichtsteile Calcium 15,96 Gewichtsteile Sauerstoff. Da die Atomgewichte des Calciums wie des Sauerstoffs unveranderlich sind, so erfolgt auch die Vereinigung von x Atomen Calcium mit x Atomen Sauerstoff in dem Gewichtsverhältnis von 39,9 : 15,96, und in x Molekülen, d. h. in jeder beliebigen Menge Calciumoxyd kommen auf 39,9 Gewichtsteile Calcium stets 15,96 Gewichtsteile Sauerstoff

[1]) Auch diese Zahl bedeutet naturlich nicht das *absolute* Gewicht eines Molekuls Kohlendioxyd; sie sagt vielmehr nur, daß ein Molekul Kohlendioxyd 43,89 mal so schwer ist als ein Atom Wasserstoff.

[2]) So erscheint uns von weitem ein Wald als eine fest zusammenhangende Masse, weil unser Auge die Lucken zwischen den Stammen nicht erkennt (J T. Weber).

[3]) Am kleinsten sind sie bei festen, großer bei flussigen, am großten bei luftförmigen Körpern.

In einem wie in jeder beliebigen Menge von Kohlendioxydmolekülen kommen auf 1 Atom Kohlenstoff stets 2 Atome Sauerstoff oder, da das Atomgewicht jedes Kohlenstoffatoms 11,97, jedes Sauerstoffatoms 15,96 ist, auf 11,97 Gewichtsteile Kohlenstoff 2 × 15,96, d. i. 31,92 Gewichtsteile Sauerstoff, usf.

In jeder bestimmten chemischen Verbindung, wo und wie immer sie entstanden sein mag, sind die Elemente, aus denen sie besteht, stets in demselben Gewichtsverhältnis enthalten (*Gesetz der konstanten Proportionen*).[1])

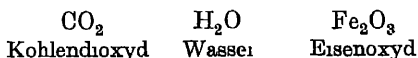
§ 7.

Chemische Zeichensprache. Um den Vorgang der chemischen Vereinigung wie der chemischen Zerlegung bequem darstellen zu können, bezeichnet man jedes Element mit dem Anfangsbuchstaben seines lateinischen Namens, wenn nötig unter Zufügung eines zweiten Buchstabens. So hat der Sauerstoff (Oxygenium) das „*Zeichen*" (oder „*Symbol*") O, das Element Wasserstoff (Hydrogenium) das Zeichen H, das Element Magnesium das Zeichen Mg erhalten. Diese — auch in der Übersicht über die Elemente aufgeführten — Zeichen bedeuten aber nicht bloß den Namen, sondern zugleich die durch die Atomgewichtszahl ausgedrückte Gewichtsmenge der Elemente oder, wie man schlechtweg sagen kann, ein Atom des Elementes.

Durch Nebeneinanderstellen mehrerer Zeichen wird ausgedrückt, daß die betreffenden Elemente chemisch miteinander verbunden sind. Z. B. bedeutet der „*Ausdruck*" oder die „*Formel*"

$$CaO$$

ein Molekül Calciumoxyd, worin 1 Atom Calcium mit 1 Atom Sauerstoff oder 39,9 Gewichtsteile Calcium mit 15,96 Gewichtsteilen Sauerstoff zu 55,86 Gewichtsteilen Calciumoxyd verbunden sind. Die Formeln

CO_2	H_2O	Fe_2O_3
Kohlendioxyd	Wasser	Eisenoxyd

lassen erkennen, daß in einem Molekül Kohlendioxyd ein Atom Kohlenstoff mit *zwei* Atomen Sauerstoff, in einem Molekül Wasser *zwei* Atome Wasser-

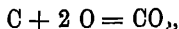
[1]) Die Richtigkeit dieses Satzes erleidet keine Einbuße durch die Tatsache, daß nicht selten mehrere Elemente in verschiedenen Gewichtsverhältnissen (nach dem *Gesetz der „multiplen" Proportionen*) sich miteinander vereinigen. So kann sich ein Atom Kohlenstoff sowohl mit einem als auch mit zwei Atomen Sauerstoff verbinden. Im ersteren Falle entsteht *Kohlenoxyd*, eine Verbindung, in der auf 11,97 Gewichtsteile Kohlenstoff 15,96 Gewichtsteile Sauerstoff kommen, im anderen Fall entsteht *Kohlendioxyd*, das auf 11,97 Gewichtsteile Kohlenstoff 2 × 15,96 = 31,92 Gewichtsteile Sauerstoff enthält. Beide Verbindungen sind ganz verschiedenartige Körper, und für jede von ihnen gilt das Gesetz der konstanten Proportionen.

stoff mit einem Atom Sauerstoff, in einem Molekul Eisenoxyd *zwei* Atome Eisen mit *drei* Atomen Sauerstoff verbunden sind. Damit ist zugleich gesagt, daß in der Verbindung:

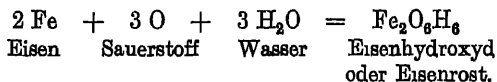
Wasser . . . auf	2 Gewichtsteile	Wasserstoff	15,96	Gewichtsteile Sauerstoff,
Kohlendioxyd „	11,97 „	Kohlenstoff	31,92	„ „
Eisenoxyd. . „	55,9 „	Eisen	47,88	„ „

kommen.

Den Vorgang der chemischen Vereinigung drückt man durch eine „chemische Gleichung“ z. B. wie folgt aus:

$$C + 2\,O = CO_2,$$

d h. 1 Atom Kohlenstoff vereinigt sich mit 2 Atomen Sauerstoff zu einem Molekul Kohlendioxyd.

Das Rosten des Eisens (s. o) vollzieht sich nach folgender chemischen Gleichung.

$$\underset{\text{Eisen}}{2\,Fe} + \underset{\text{Sauerstoff}}{3\,O} + \underset{\text{Wasser}}{3\,H_2O} = \underset{\text{Eisenhydroxyd oder Eisenrost.}}{Fe_2O_6H_6}$$

Hiernach vereinigen sich beim Liegen des Eisens an feuchter Luft immer 2 Atome Eisen mit 3 Atomen Sauerstoff (aus der Luft) und den Wasserstoff- und Sauerstoffatomen aus 3 Molekulen Wasser (Luftfeuchtigkeit) zu einem Molekul Eisenhydroxyd. Mit Hilfe der Atomgewichte berechnet sich aus dieser Gleichung leicht, daß

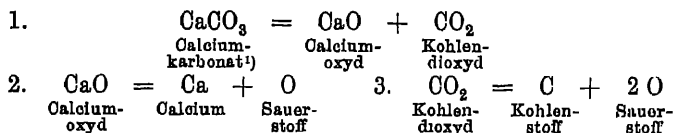
	111,8 Gewichtsteile Eisen	213,50	Gewichtsteile Eisenrost
oder	100 „ „	190,96	„ „

liefern.

Die Zerlegung des Kalksteins (s. o.) in seine Bestandteile kann man durch die folgenden chemischen Gleichungen ausdrucken

1. $$\underset{\text{Calcium-karbonat[1])}}{CaCO_3} = \underset{\text{Calcium-oxyd}}{CaO} + \underset{\text{Kohlen-dioxyd}}{CO_2}$$

2. $$\underset{\text{Calcium-oxyd}}{CaO} = \underset{\text{Calcium}}{Ca} + \underset{\text{Sauer-stoff}}{O}$$

3. $$\underset{\text{Kohlen-dioxyd}}{CO_2} = \underset{\text{Kohlen-stoff}}{C} + \underset{\text{Sauer-stoff}}{2\,O}$$

Der durch Gleichung 1 veranschaulichte Vorgang vollzieht sich im Kalkofen. Hier zerfällt jedes Molekul Calciumkarbonat in 1 Molekul Calciumoxyd und 1 Molekul Kohlendioxyd. Durch chemische Mittel können diese beiden Korper noch weiter zerlegt werden Nach Gleichung 2 liefert hierbei immer 1 Molekul Calciumoxyd 1 Atom Calcium und 1 Atom Sauerstoff, nach Gleichung 3 1 Molekul Kohlendioxyd 1 Atom Kohlen-

---

[1]) Kalkstein in völlig reinem Zustande besteht aus einer chemischen Verbindung, die man nach der älteren chemischen Sprache als kohlensauren Kalk, nach der neueren als Calciumkarbonat (auch als kohlensaures Calcium) bezeichnet.

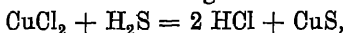
stoff und 2 Atome Sauerstoff. Diese Gleichungen gestatten es, wieder an der Hand der Atomgewichte, die Vorgänge auch „quantitativ" zu verfolgen:

1 Molekul, d. i. (39,9 + 11,97 + 3 × 15,96 =) 99,75 Gewichtsteile Calciumkarbonat, liefert im Kalkofen 1 Molekul, d. i. (39,9 + 15,96 =) 55,86 Gewichtsteile Calciumoxyd („gebrannten Kalk") und 1 Molekul, d. i (11,97 + 2 × 15,96 =) 43,89 Gewichtsteile Kohlendioxyd. Bei weiterer chemischer Zersetzung zerfallen die 55,86 Gewichtsteile Calciumoxyd in 39,9 Gewichtsteile Calcium und 15,96 Gewichtsteile Sauerstoff und die 43,89 Gewichtsteile Kohlendioxyd in 11,97 Gewichtsteile Kohlenstoff und 31,92 Gewichtsteile Sauerstoff.

§ 8.

Chemische Verwandtschaft; Massenwirkung; Wechselzersetzung. Das den chemischen Elementen in hoherem oder geringerem Grade eigene Bestreben, mit anderen Elementen sich chemisch zu verbinden, bezeichnet man als chemische *Verwandtschaft* oder Affinität[1]) (auch „Spannkraft" oder „Energie"). Wie große Unterschiede die verschiedenen Elemente hinsichtlich ihres Vereinigungsbestrebens aufweisen, geht z. B. aus der Tatsache hervor, daß das Element Stickstoff nur mit vereinzelten anderen Elementen sich unmittelbar vereinigt, daß dagegen der Sauerstoff bald langsamer, bald schneller schon bei bloßer Beruhrung, besonders leicht bei höherer Temperatur mit fast allen Elementen Verbindungen eingeht. Der Stickstoff ist ein „träges" Element, er besitzt eine „schwache", der Sauerstoff eine „starke" Verwandtschaft.

Die Vereinigung zweier oder mehrerer Elemente zu einer chemischen Verbindung ist nicht nur abhangig von der stärkeren oder schwächeren Verwandtschaft, sondern auch von dem Mengenverhältnis, in dem sie aufeinander einwirken. So kann ein mit schwächerer Energie begabtes Element ein stärker begabtes aus seinen Verbindungen verdrangen, wenn es in sehr großer Menge vorhanden ist (Beispiele s. u) Man nennt diese Erscheinung *chemische Massenwirkung*. Sie wird uns in der Bodenkunde noch vielfach begegnen. Die Unterschiede in der Starke der chemischen Verwandtschaft sprechen sich auch in dem Vorgang der *Wechselzersetzung* aus. Wenn zwei chemische Verbindungen aufeinander einwirken, so erfolgt eine Umsetzung der verschiedenen Bestandteile nach Maßgabe ihrer stärkeren oder schwächeren Verwandtschaft. Kommen z B Chlorkupfer und Schwefelwasserstoff zusammen, so entsteht daraus Chlorwasserstoff und Schwefelkupfer nach der Gleichung

$$CuCl_2 + H_2S = 2\,HCl + CuS,$$

[1]) Eine nicht glucklich gewahlte Bezeichnung, da die unahnlichsten Elemente meist das größte Vereinigungsstreben besitzen.

weil das Chlor eine stärkere Verwandtschaft zum Wasserstoff hat als dieser zum Schwefel. (Weiteres über die Wechselzersetzung s u § 19.)

§ 9.

Valenz oder Wertigkeit der Elemente; gesättigte und ungesättigte Verbindungen, Radikale. Wir haben vorhin gesehen, daß ein Atom Calcium mit einem Atom Sauerstoff zu *einem* Molekul Calciumoxyd (CaO), ein Atom Kohlenstoff hingegen mit *zwei* Atomen Sauerstoff zu einem Molekul Kohlendioxyd (CO_2) sich vereinigen kann. Das Kohlenstoffatom besitzt mithin ein größeres Bindungsvermogen als das Calciumatom. Auch bei den Atomen anderer Elemente findet man eine verschieden große Atombindekraft. Am deutlichsten spricht sich das in ihrem Verhalten gegen die Wasserstoffatome aus. So vereinigt sich

ein Atom *Chlor* mit *einem* Atom Wasserstoff zu einem Molekul Chlorwasserstoff . $Cl + H = HCl$,

ein Atom *Sauerstoff* mit *zwei* Atomen Wasserstoff zu einem Molekul Wasser $O + 2H = H_2O$,

ein Atom *Stickstoff* mit *drei* Atomen Wasserstoff zu einem Molekul Ammoniak $N + 3H = H_3N$,

ein Atom *Kohlenstoff* mit *vier* Atomen Wasserstoff zu einem Molekul Methan („Sumpfgas") $C + 4H = CH_4$.

Ein Chloratom besitzt mithin die gleiche Bindekraft wie ein Wasserstoffatom. Bezeichnet man das Wasserstoffatom als „*einwertig*", so ist auch das Chloratom einwertig. Das Sauerstoffatom besitzt die doppelte Bindekraft oder „Wertigkeit" wie das Chlor- und das Wasserstoffatom, es ist *zweiwertig*, der Stickstoff ist *drei*-, der Kohlenstoff *vierwertig*. Ein *Fluor*atom besitzt die gleiche Wertigkeit wie ein Chloratom. Das Element *Schwefel*, das mit dem Wasserstoff eine Verbindung von der Zusammensetzung H_2S (Schwefelwasserstoff) eingeht, ist dem Sauerstoff „gleichwertig" oder „äquivalent", der *Phosphor* ist dem Stickstoff, das Element *Silicium* dem Kohlenstoff äquivalent; denn der erstere vereinigt sich mit 3 Atomen Wasserstoff zu Phosphorwasserstoff (PH_3), das letztere mit 4 Atomen Wasserstoff zu Siliciumwasserstoff (SiH_4).

Die verschiedene Wertigkeit der Elemente bezeichnet man auch durch den Ausdruck: Der Wasserstoff besitzt eine, der Sauerstoff zwei, der Stickstoff drei usw *Verwandschaftseinheiten* oder *Valenzen*.

„*Gesättigt*" nennt man eine Verbindung, wenn sämtliche Valenzen eines Bestandteiles durch die Valenzen der übrigen Bestandteile in Anspruch genommen, „gebunden", „gesättigt" werden. Gesattigt sind z B. folgende Verbindungen:

H_2O	CO_2	CaO	$CaCO_3$
Wasser	Kohlendioxyd	Calciumoxyd	Calciumkarbonat.

Im *Wasser* werden die beiden Valenzen des zweiwertigen Sauerstoffatoms durch die 2 Valenzen der beiden einwertigen Wasserstoffatome, im *Kohlendioxyd* die 4 Valenzen des Kohlenstoffatoms durch die 4 der beiden Sauerstoffatome gesättigt. Im *Calciumoxyd* binden die 2 Valenzen des zweiwertigen Calciums die 2 des Sauerstoffatoms, im *Calciumkarbonat* die 6 Valenzen der 3 zweiwertigen Sauerstoffatome die (im ganzen) 6 Valenzen des zweiwertigen Calcium- und des vierwertigen Kohlenstoffatoms.

Die Verbindungen bleiben gesättigt, wenn einzelne ihrer Bestandteile durch *gleichwertige* Körper vertreten werden, wenn z. B.

im *Wassermolekul* an die Stelle des Sauerstoffs das gleichwertige Schwefelatom tritt: H_2S (Wasserstoffsulfid oder Schwefelwasserstoff);

im *Kohlendioxyd* der Kohlenstoff durch das gleichwertige Silicium ersetzt („substituiert") wird. SiO_2 (Siliciumdioxyd oder Kieselerde);

im *Calciumoxyd* das Calcium durch das gleichfalls zweiwertige Magnesium, oder der Sauerstoff durch Schwefel vertreten wird: MgO (Magnesiumoxyd oder Magnesia), CaS (Calcumsulfid oder Schwefelcalcium) oder endlich

im *Calciumkarbonat* an die Stelle des einen zweiwertigen Calciumatoms zwei einwertige Kaliumatome oder ein Kaliumatom und ein Wasserstoffatom treten · K_2CO_3 (Kaliumkarbonat oder kohlensaures Kalium), $KHCO_3$) (saures Kaliumkarbonat oder [illegible]

Ein Atom des einwertigen [illegible] Atom des einwertigen Natrium [illegible] gesättigte Verbindung schließen: $NaCl$ (Natriumchlorid oder „Kochsalz"), dagegen wird ein Atom der zweiwertigen Elemente Calcium, Magnesium erst durch zwei Atome Chlor gesättigt: $CaCl_2$, $MgCl_2$ (Calciumchlorid, Magnesiumchlorid).

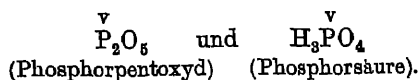
Die Lehre von der Wertigkeit (Valenzlehre) beruht nicht wie die Lehre von der konstanten Zusammensetzung der chemischen Verbindungen auf einem klar erkannten Naturgesetz, sondern nur auf einer Annahme (Hypothese, die in sehr vielen Fällen eine befriedigende Erklärung fur die Bindungsart der verschiedenen Atome bringt.

Gewisse Verbindungen zwingen uns aber zu der Folgerung, daß die Wertigkeit keine *Grund*eigenschaft der Elemente ist, daß sie vielmehr unter verschiedenen Verhältnissen verschieden sein kann. So tritt z. B. der Schwefel in seiner Verbindung mit Wasserstoff *zwei*wertig. H_2S, in seinen Verbindungen mit Sauerstoff *vier*- oder *sechs*wertig auf

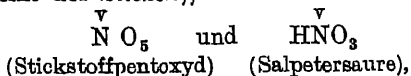
$\overset{IV}{SO_2}$	und	$H_2\overset{IV}{S}O_3$	—	$\overset{VI}{SO_3}$	und	$H_2\overset{VI}{S}O_4$
(Schwefeldioxyd)		(schweflige Saure)		(Schwefeltrioxyd)		(Schwefelsaure).

Dem Phosphoratom muß man nach seiner Wasserstoffverbindung ($\overset{III}{P}H_3$) *drei* Valenzen zuerkennen. In seinen Sauerstoffverbindungen besitzt es dagegen *fünf* Valenzen:

$$\overset{V}{P}_2O_5 \quad \text{und} \quad H_3\overset{V}{P}O_4$$

(Phosphorpentoxyd) (Phosphorsäure).

Ebenso erscheint der *Stickstoff* in seinen Sauerstoffverbindungen:

$$\overset{V}{N}\ O_5 \quad \text{und} \quad H\overset{V}{N}O_3$$

(Stickstoffpentoxyd) (Salpetersaure),

aber auch in gewissen Wasserstoffverbindungen nicht als drei-, sondern als funfwertig, z. B. im Salmiak· $\overset{V}{N}H_4Cl$.

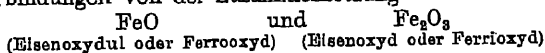
In der Übersichtstabelle über die Elemente (S. 11) ist die Wertigkeit oder die Zahl der Valenzen aufgefuhrt, die den verschiedenen Elementen zugeschrieben wird [1]).

Werden den Molekulen einer gesättigten Verbindung Atome entzogen, so bleiben gewohnlich [2]) ungesattigte Atomgruppen oder „Reste" zuruck, die nur ausnahmsweise im freien Zustande bestehen, dagegen in chemischen Verbindungen die Stelle von Elementen vertreten können Solche ungesattigten Atomgruppen nennt man *Radikale*. Denkt man sich z. B aus der gesättigten Verbindung Wasser : H_2O ein Wasserstoffatom herausgenommen, so bleibt ein Rest oder ein Radikal OH zurück, das eine freie

---

[1]) Nicht selten kann man die Annahme eines Wechsels der Wertigkeit durch die Anschauung vermeiden, daß ein Teil der Valenzen eines Atoms dazu diene, ein anderes gleichartiges Atom an sich zu ketten. Manche Beobachtungen lassen z. B. darauf schließen, daß das Eisen unter gewöhnlichen Verhaltnissen stets vierwertig ist (z. B. die Verbindung Eisenbisulfid [$\overset{IV}{Fe}S_2$]). Nun kennt man aber Eisenverbindungen von der Zusammensetzung

$$FeO \quad \text{und} \quad Fe_2O_3$$

(Eisenoxydul oder Ferrooxyd) (Eisenoxyd oder Ferrioxyd)

Nach der ersteren scheint das Eisen als *zwei*wertiges, in der zweiten als *drei*wertiges Element aufzutreten Man *kann* sich aber auch denken, daß in beiden Verbindungen das Eisen vierwertig ist, daß aber auch das Ferrooxyd-Molekul in Wirklichkeit 2 Eisenatome, also die Zusammensetzung Fe_2O_2 besitzt, und daß dann beim Ferrooxyd zwei, beim Ferrioxyd eine Valenz dazu verwendet wird, das andere Eisenatom an sich zu binden. Dann bleiben von den beiden Eisenatomen des Eisenoxyduls vier, von denen des Eisenoxyds sechs Valenzen ubrig, die im ersteren Falle durch die vier, im anderen durch die sechs Valenzen der vorhandenen Sauerstoffatome ausgeglichen werden Übrigens unterscheidet man gewöhnlich zwischen zweiwertigem und dreiwertigem Eisen und bezeichnet die Verbindungen des zweiwertigen Eisens als Ferro-, die des dreiwertigen als Ferriverbindungen.

[2]) Nicht immer So kann die gesattigte Verbindung Calciumsulfat $CaSO_4$ durch Entziehung des Sauerstoffs („Reduktion") in die gleichfalls gesattigte Verbindung Calciumsulfid CaS ubergehen Im Calciumsulfat werden die 8 Valenzen der 4 Sauerstoffatome durch die (im ganzen) 8 Valenzen des Calciumatoms und des hier sechswertigen Schwefelatoms ausgeglichen. Im Calciumsulfid tritt der Schwefel zweiwertig auf und bildet mithin mit dem gleichfalls zweiwertigen Calcium eine gesattigte Verbindung.

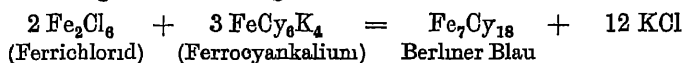
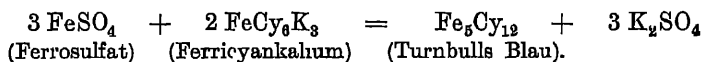
Valenz enthält und Hydroxyl genannt wird Das Radikal Hydroxyl findet sich in einer großen Zahl von Verbindungen wieder. Im „Ätzkalı" ist es an ein Atom Kalıum gebunden· KOH, das zweiwertige Calciumatom vereinigt sich mit zwei Hydroxylgruppen zu Ätzkalk = $Ca(OH)_2$ oder CaO_2H_2

Auch die Gruppe NH_4, die im Salmiak (s. o.) mit einem Atom Chlor verbunden ist, kann man als ein einwertiges Radıkal ansehen (Seine 4 Wasserstoffatome bınden nur 4 Valenzen des in diesem Falle *fünf*-wertigen Stickstoffatoms). Es wird *Ammonium* genannt und bildet einen Bestandteıl zahlreicher Verbindungen (z B. des Ammoniumsulfates $[NH_4]_2\overset{IV}{S}O_4$), dıe große Ähnlichkeit mit den entsprechenden Kalium- und Natriumverbındungen aufweisen [1])

Ein anderes, in zahlreichen Verbindungen auftretendes, gleichfalls einwertiges Radikal ist das Cyan CN, auch durch das Symbol Cy gekennzeichnet. Es ist ein Bestandteil der äußerst giftigen Verbindungen Cyanwasserstoff (HCy) oder „Blausäure" und Cyankalium (KCy). Ferner kommt es in zwei fur die Erkennung von Eisenverbindungen wichtigen Salzen, dem Ferrocyankalıum (gelbes Blutlaugensalz) $FeCy_6K_4$ und dem Ferricyankalium („rotes Blutlaugensalz") $FeCy_6K_3$ vor. Das Ferrocyankalium gıbt mit Ferrisalzen eıne tiefblau gefarbte Verbindung („Berliner Blau"), das Ferricyankalıum mit Ferroverbindungen eıne gleichfalls blaue Verbindung, genannt „Turnbulls Blau". Beides äußerst empfindliche Reaktionen auf Eisenoxyd- und Eisenoxydulverbindungen. Sie lassen sıch durch folgende Gleichungen veranschaulichen·

$$\underset{\text{(Ferrichlorıd)}}{2\,Fe_2Cl_6} + \underset{\text{(Ferrocyankalium)}}{3\,FeCy_6K_4} = \underset{\text{Berlıner Blau}}{Fe_7Cy_{18}} + 12\,KCl$$

und

$$\underset{\text{(Ferrosulfat)}}{3\,FeSO_4} + \underset{\text{(Ferricyankalıum)}}{2\,FeCy_6K_3} = \underset{\text{(Turnbulls Blau).}}{Fe_5Cy_{12}} + 3\,K_2SO_4$$

Das Cyan verbindet sich mıt Schwefel zu einem gleichfalls einwertigen Radikal dem Schwefelcyan oder Rhodan SCy. Dieses kann sich mit Wasserstoff und mit Metallen oder metallähnlıchen Radikalen zu Rhodanverbındungen vereinigen (CySH, CySK, $CySNH_4$ usw.).

Die Rhodanverbindungen geben mit Ferrısalzen eıne blutrote Färbung [2])

§ 10.

Oxydation, Oxyde, Hydroxyde, Säuren, Basen, Salze. Fast alle in der Bodenkunde zu besprechenden zusammengesetzten Körper gehoren einer der folgenden Gruppen an: *Oxyde, Basen, Sauren, Salze*

[1]) Von den Ammonıumverbindungen wırd unten dıe Rede seın (§ 32).

[2]) Gleıchfalls sehr empfindlıche Reaktion.

Das Fluor und einige seltene Gase ausgenommen, können alle Elemente sich mit Sauerstoff verbinden. Den Vorgang der direkten Vereinigung bezeichnet man als *Oxydation* oder *Verbrennung*[1]), die Vereinigungsprodukte als *Oxyde.* Wasserstoff, an der Luft entzündet, verbrennt, er vereinigt sich mit Sauerstoff, er wird zu Wasserstoffoxyd oder Wasser (H_2O) „oxydiert". Die Metalle *Kalium*, *Natrium*, *Calcium* oxydieren sich beim Verbrennen an der Luft zu Kaliumoxyd oder Kali (K_2O), Natriumoxyd oder Natron (Na_2O), Calciumoxyd oder Kalk (CaO).

Geht ein Metall mehrere Verbindungen mit Sauerstoff ein, oder m. a. W. bildet es „niedere und höhere Oxydationsstufen", so bezeichnete man nach der älteren chemischen Ausdrucksweise das *an Sauerstoff ärmere* als *Oxydul*, das *an Sauerstoff reichere* als *Oxyd* So bildet z B. das Eisen folgende Oxyde:

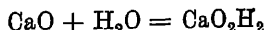
FeO	Fe_2O_3	Fe_3O_4 (= $FeO + Fe_2O_3$)
Eisenoxydul	Eisenoxyd	Eisenoxyduloxyd.

Die neuere chemische Sprache kennzeichnet die verschiedenartigen Oxyde dadurch, daß sie dem Namen des Metalls bei den an *Metall ärmeren* Verbindungen die Endung i, bei den an *Metall reicheren* die Endung O gibt. Danach erhält die Verbindung Fe_2O_3 den Namen Ferrioxyd, die Verbindung FeO, bei der schon auf (ein Atom Sauerstoff ein Atom Eisen oder) *zwei* Atome Sauerstoff zwei Atome Eisen kommen, den Namen *Ferrooxyd* und die Verbindung Fe_3O_4 den Namen Ferroferrioxyd (mineralogisch: Magneteisen).

Das Nichtmetall Schwefel kann bei seiner Vereinigung mit Sauerstoff zwei Oxyde, Schwefeldioxyd (SO_2) und Schwefeltrioxyd (SO_3) liefern. Beim Verbrennen des Phosphors entsteht Phosphorpentoxyd (P_2O_5), beim Verbrennen des Kohlenstoffs Kohlendioxyd (CO_2).

Die meisten Oxyde können sich mit den Elementen des Wassers zu gesättigten Verbindungen vereinigen, die man *Hydroxyde* nennt.

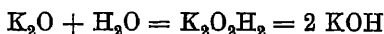
Calciumoxyd in Berührung mit Wasser geht in Calciumhydroxyd (Ätzkalk) über:

$$CaO + H_2O = CaO_2H_2$$

Das Calciumhydroxyd ist in Wasser etwas löslich, die Lösung („Kalkwasser") hat einen laugenhaften Geschmack und blaut roten Lackmusfarbstoff. Diese Eigenschaften bezeichnet man als „alkalische Reaktion". Mit Säuren zusammengebracht bildet es Salze (s. u.). Derartige Hydroxyde nennt man *Basen*, die Oxyde, woraus sie hervorgehen,

---

[1]) Als Verbrennung im gewöhnlichen Sinn, wenn die Vereinigung sich rasch unter lebhafter Wärme- und Lichtentwicklung vollzieht; als „langsame Verbrennung", wenn sie nur allmählich und ohne oder doch nur mit ganz schwacher Lichtentwicklung erfolgt.

b a s e n b i l d e n d e O x y d e. „Alkalisch reagierende“ Basen sind z. B. das *Kaliumhdroxyd* oder Ätzkali (KOH), das *Natriumhydroxyd* oder Ätznatron [1]) (NaOH). Aus ihren Oxyden können sie entstehen nach der Gleichung:

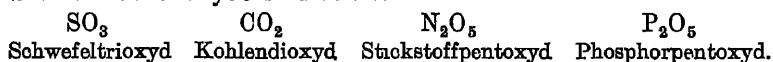
$$K_2O + H_2O = K_2O_2H_2 = 2\,KOH$$

Nicht in Wasser löslich und deswegen auch nicht alkalisch reagierende Basen sind das *Ferrohydroxyd* FeO_2H_2 (in der älteren chemischen Sprache Eisenhydroxydul) und das *Ferrihydroxyd* $Fe_2O_6H_6$ (Eisenrost, s. o., früher auch als Eisenoxydhydrat bezeichnet).

Die Metalle liefern bei ihrer Vereinigung mit Sauerstoff allermeist basenbildende Oxyde.

Andere Oxyde vereinigen sich mit den Elementen des Wassers zu Hydroxyden, die, falls sie in Wasser löslich sind, sauren Geschmack und die Fähigkeit besitzen, blauen Lackmusfarbstoff zu röten (sie zeigen „s a u r e R e a k t i o n“). Man nennt sie daher „s ä u r e b i l d e n d e O x y d e“, ihre Hydroxyde aber *Säuren*. Mit Basen zusammengebracht, bilden sie Salze (s u.).

Die meisten Nichtmetalle vereinigen sich mit Sauerstoff zu säurebildenden Oxyden.

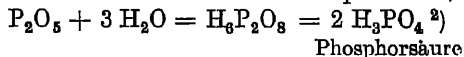
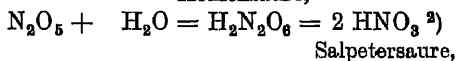
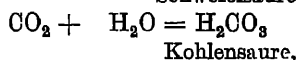
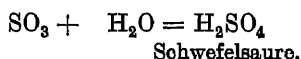
Säurebildende Oxyde sind z. B.:

SO_3	CO_2	N_2O_5	P_2O_5
Schwefeltrioxyd	Kohlendioxyd	Stickstoffpentoxyd	Phosphorpentoxyd.

In Berührung mit Wasser liefern sie Säuren nach folgenden Gleichungen:

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$$
Schwefelsäure,

$$CO_2 + H_2O = H_2CO_3$$
Kohlensäure,

$$N_2O_5 + H_2O = H_2N_2O_6 = 2\,HNO_3$$ [2])
Salpetersäure,

$$P_2O_5 + 3\,H_2O = H_6P_2O_8 = 2\,H_3PO_4$$ [2])
Phosphorsäure

Oxyde, die mit den Elementen des Wassers sich weder zu Säuren noch zu Basen vereinigen, nennt man *indifferente Oxyde*. Beispiele: Wasser (H_2O), Kohlenoxyd (CO), Eisenhammerschlag oder Ferroferrioxyd (Fe_3O_4), Braunstein oder Manganperoxyd (MnO_2) („Mangansuper-

---

[1]) Die Lösung von Kaliumhydroxyd und Natriumhydroxyd in Wasser nennt man „Kalilauge“ und „Natronlauge“.

[2]) In einem Molekül Salpetersäure sind nicht 2 Atome Wasserstoff, 2 Atome Stickstoff, 6 Atome Sauerstoff, in einem Molekül Phosphorsäure nicht 6 Atome Wasserstoff, 2 Atome Phosphor, 8 Atome Sauerstoff, sondern nur die Hälfte dieser Mengen enthalten; es entstehen bei den oben dargestellten Vorgängen also nicht ein, sondern *zwei* Moleküle Salpetersäure und Phosphorsäure.

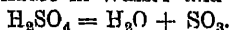
oxyd", „Manganhyperoxyd") u. a. Nach den *älteren chemischen Anschauungen* bezeichnete man die basenbildenden Oxyde als Basen, die säurebildenden Oxyde als Säuren, ihre Hydroxyde aber sah man als Verbindungen mit Wasser an und bezeichnete sie dementsprechend als „Oxydhydrate" und „Säurehydrate". Zum Beispiel.

CaO, H_2O (Verbindung von Kalk mit Wasser): „Kalkhydrat",
N_2O_5, H_2O („ „ Salpetersäure mit Wasser): „Salpetersäurehydrat",
SO_3, H_2O („ „ Schwefelsäure mit Wasser): „Schwefelsäurehydrat"[1]) usw.

Die *jüngere Chemie* sieht in den *Basen* Verbindungen eines Metalls, in den sauerstoffhaltigen[2]) Säuren Verbindungen eines „Säureradikals" (s. § 9) mit dem Radikal Hydroxyl (OH). Z. B.:

Calciumhydroxyd	CaO_2H_2	$= Ca(OH)_2$,
Ferrohydroxyd	FeO_2H_2	$= Fe(OH)_2$,
Ferrihydroxyd	$Fe_2O_6H_6$	$= Fe_2(OH)_6$.
Salpetersäure	HNO_3	$= NO_2 \cdot OH$, (Nitroxyl)[3])
Schwefelsäure	H_2SO_4	$= SO_2(OH)_2$, (Sulfuryl)[3])
Kohlensaure	H_2CO_3	$= CO(OH)_2$, (Carbonyl)[3])
Phosphorsäure	H_3PO_4	$= PO \cdot (OH)_3$ usw. (Phosphoryl)[3])

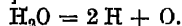
[1]) Daß in der Tat innerhalb des durch die chemische Formel H_2SO_4 gekennzeichneten Schwefelsäuremoleküls zwei in sich fester gefügte Atomgruppen von der Zusammensetzung H_2O und SO_3 enthalten sind, geht daraus hervor, daß beim Erhitzen die Schwefelsäure in Wasser und Schwefeltrioxyd zerfällt:

$$H_2SO_4 = H_2O + SO_3.$$

Derartige Vorgange bezeichnet man nach dem franzosischen Chemiker Deville als *Dissoziation* chemischer Verbindungen. Man kennt ihrer eine große Anzahl. Zu ihnen gehört u. a. der Zerfall des Calciumkarbonats beim „Brennen" des Kalksteins s. o.). $CaCO_3 = CaO + CO_2$

Chlorammonium (Salmiak) spaltet sich beim Erhitzen:

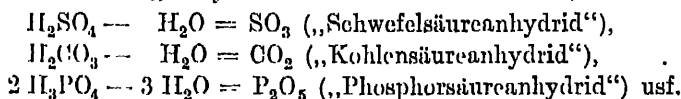
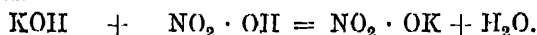
$$NH_4Cl = NH_3 + HCl,$$

Wasser bei sehr hoher Temperatur:

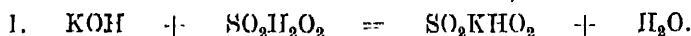
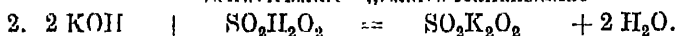
$$H_2O = 2H + O.$$

[2]) Über sauerstofffreie Sauren s. § 11.

[3]) Wenn der Stickstoff funfwertig, der Sauerstoff zweiwertig ist, so besitzt das Säureradikal *Nitroxyl* NO_2 noch eine freie Valenz, die *eine* einwertige Hydroxylgruppe an sich ketten kann. Im *Sulfuryl* ist der Schwefel sechswertig 4 Valenzen werden durch die 4 Valenzen der 2 Sauerstoffatome ausgeglichen, die überbleibenden 2 freien Valenzen konnen *zwei* Hydroxylgruppen binden Das Radikal *Carbonyl* muß zweiwertig sein, weil das Kohlenstoffatom vier-, das Sauerstoffatom zweiwertig ist. Das Radikal der Phosphorsaure PO ist dreiwertig, weil von den 5 Valenzen des Phosphoratoms nur 2 durch die Valenzen des Sauerstoffatoms gesättigt werden.

Denkt man sich aus den Säuren Wasserstoff und Sauerstoff in dem Verhältnis, in dem sie Wasser bilden, herausgenommen, so bleiben die säurebildenden Oxyde, die man früher „Säuren" nannte, zurück. Letztere kann man daher als „Anhydride" der Säuren bezeichnen, z. B.:

$H_2SO_4 - H_2O = SO_3$ („Schwefelsäureanhydrid"),
$H_2CO_3 - H_2O = CO_2$ („Kohlensäureanhydrid"),
$2\,H_3PO_4 - 3\,H_2O = P_2O_5$ („Phosphorsäureanhydrid") usf.

Säuren und Basen bilden miteinander unter gleichzeitiger Entstehung von Wasser *Salze*:

$$KOH + NO_2 \cdot OH = NO_2 \cdot OK + H_2O.$$
Kaliumhydroxyd Salpetersäure Kaliumnitrat

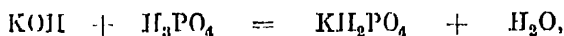
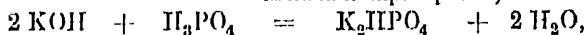
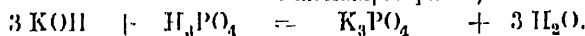
Bei der Salzbildung tritt also das Metall aus der Base an die Stelle des Wasserstoffs in der Hydroxylgruppe der Säure, während der letztere mit der Hydroxylgruppe der Base sich zu Wasser vereinigt [1]).

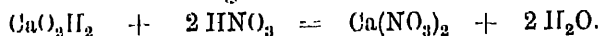
Enthält eine Säure mehrere Hydroxylgruppen, so können auch mehrere Wasserstoffatome durch ein Metall ersetzt werden, z. B.:

1. $KOH + SO_2H_2O_2 = SO_2KHO_2 + H_2O.$
Schwefelsäure „Saures Kaliumsulfat"

2. $2\,KOH + SO_2H_2O_2 = SO_2K_2O_2 + 2\,H_2O.$
„Normales (oder neutrales) Kaliumsulfat"

Im Fall 1 entsteht ein „saures", im Fall 2 ein „normales" [2]) Salz.

Je nachdem eine Säure eine oder mehrere Hydroxylgruppen enthält, heißt sie *ein-* oder *mehrbasisch*. Die Phosphorsäure ist dreibasisch, sie kann drei Reihen von Salzen bilden:

$KOH + H_3PO_4 = KH_2PO_4 + H_2O,$
Monokaliumphosphat [3])

$2\,KOH + H_3PO_4 = K_2HPO_4 + 2\,H_2O,$
Dikaliumphosphat [3])

$3\,KOH + H_3PO_4 = K_3PO_4 + 3\,H_2O.$
Trikaliumphosphat [3])

Treten mehrwertige Metallatome in ein Säuremolekül ein, so kann das häufig nur dann geschehen, wenn mehrere Säuremoleküle sich vereinigt haben. So bei der Entstehung von Calciumnitrat

$$CaO_2H_2 + 2\,HNO_3 = Ca(NO_3)_2 + 2\,H_2O.$$
Calciumhydroxyd Salpetersäure Calciumnitrat

---

[1]) Umgekehrt kann man auch sagen: Das Säureradikal der Säure tritt an die Stelle des Wasserstoffs in die Base, während der letztere mit dem Hydroxyl der Säure sich zu Wasser vereinigt.

[2]) Die sogenannten sauren Salze, die man als Zwischenstufen zwischen der Säure und dem „normalen" Salz ansehen kann, zeigen häufig, wenn auch nicht immer, saure Reaktion, die „normalen" reagieren meist neutral, bisweilen alkalisch.

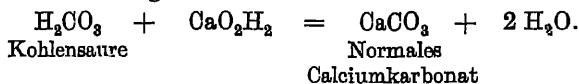
[3]) Wohl auch als zweifachsaures, einfachsaures und normales Kaliumphosphat bezeichnet.

Nach alterer Anschauung:	Nach neuerer Anschauung:	
Salpetersaures Kali K_2O, N_2O_5.	Kaliumnitrat KNO_3	$[NO_2 \cdot OK]$.
Salpetersaures Ammoniak $(NH_4)_2O$, N_2O_5. (richtiger: Salpetersaures Ammoniumoxyd).	Ammoniumnitrat NH_4NO_3	$[NO_2 \cdot ONH_4]$.
Salpetersaurer Kalk CaO, N_2O_5	Calciumnitrat $Ca(NO_3)_2$	$[(NO_2)_2 \cdot O_2Ca]$.
Schwefelsaures Kali K_2O, SO_3.	Kaliumsulfat K_2SO_4	$[SO_2 \cdot O_2K_2]$.
Schwefelsaurer Kalk CaO, SO_3.	Calciumsulfat $CaSO_4$	$[SO_2 \cdot O_2Ca]$.
Schwefelsaures Eisenoxydul FeO, SO_3.	Ferrosulfat $FeSO_4$	$[SO_2 \cdot O_2Fe.]$
Schwefelsaures Eisenoxyd Fe_2O_3, $3\,SO_3$.	Ferrisulfat $Fe_2(SO_4)_3$	$[(SO_2)_3 \cdot O_6Fe_2]$.
Kohlensaures Natron Na_2O, CO_2.	Normales Natriumkarbonat Na_2CO_3	$[CO \cdot O_2Na_2]$.
Doppeltkohlensaures Natron Na_2O, $CO_2 + H_2O$, CO_2[1]).	Saures Natriumkarbonat $NaHCO_3$	$[CO \cdot O_2HNa]$.
Kohlensaurer Kalk CaO, CO_2.	Normales Calciumkarbonat $CaCO_3$	$[CO \cdot O_2Ca]$.
Doppeltkohlensaurer Kalk CaO, $CO_2 + H_2O$, CO_2.	Saures Calciumkarbonat $CaH_2(CO_3)_2$	$[(CO)_2 \cdot O_4CaH_2]$
Basisches phosphorsaures Kali $3\,K_2O$, P_2O_5.	Trikaliumphosphat K_3PO (dreifach)	$[PO \cdot O_3K_3]$.
Neutrales phosphorsaures Kali $2\,K_2O$, H_2O, P_2O_5.	Dikaliumphosphat K_2HPO_4 (zweifach)	$[PO \cdot O_3K_2H]$
Saures phosphorsaures Kali K_2O, $2\,H_2O$, P_2O_5.	Monokaliumphosphat KH_2PO_4 (einfach)	$[PO \cdot O_3KH_2]$.
Basischer phosphorsaurer Kalk $3\,CaO$. P_2O_5.	Trikalciumphosphat $Ca_3(PO_4)_2$	$[(PO)_2 \cdot O_6Ca_3]$.
Neutraler phosphorsaurer Kalk $2\,CaO$, H_2O, P_2O_5.	Dicalciumphosphat $Ca_2H_2(PO_4)_2$	$[(PO)_2 \cdot O_6Ca_2H_2]$,
Saurer phosphorsaurer Kalk CaO. $2\,H_2O$. P_2O_5.	Monocalciumphosphat $CaH_4(PO_4)_2$	$[(PO)_2 \cdot O_4CaH_4]$
Phosphorsaures Eisenoxydul $3\,FeO$. P_2O_5.	Ferrophosphat $Fe_3(PO_4)_2$	$[(PO)_2 \cdot O_6Fe_3]$.
Phosphorsaures Eisenoxyd Fe_2O_3. P_2O_5.	Ferriphosphat $Fe_2(PO_4)_2$[2])	$[(PO)_2 \cdot O_8Fe_2]$.

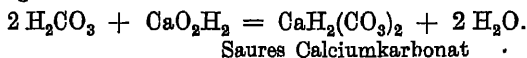
[1]) Die „doppeltsauren" Salze sah man als Verbindungen des neutralen Salzes mit einem „Säurehydrat" (s. o.) an.
[2]) Gewöhnlich wendet man die einfachere Formel $FePO_4$ oder $PO \cdot O_3Fe$ an.

Ferner kann z. B. *ein* Molekul einer zweibasischen Säure mit dem Atom eines zweiwertigen Metalls nur ein *normales* Salz bilden:

$$H_2CO_3 + CaO_2H_2 = CaCO_3 + 2\,H_2O.$$

Kohlensaure — Normales Calciumkarbonat

Zur Bildung eines *sauren* Salzes sind *zwei* Säuremolekule erforderlich:

$$2\,H_2CO_3 + CaO_2H_2 = CaH_2(CO_3)_2 + 2\,H_2O.$$

Saures Calciumkarbonat

Die ältere Chemie betrachtete ein Salz als die chemische Verbindung eines säurebildenden mit einem basenbildenden Oxyd oder nach ihrer Auffassung als die Verbindung einer „Säure“ mit einer „Base“. Ein Molekul Calciumsulfat $CaSO_4$ enthielt hiernach die beiden Gruppen CaO (Kalk) und SO_3 („Schwefelsäure“): CaO, SO_3.

Ein Molekul des normalen Kaliumphosphats bestand aus „Kali“ und „Phosphorsäure“: 3 K_2O, P_2O_5 [1]), dementsprechend bezeichnete man diese Salze als „schwefelsauren Kalk“ und als „phosphorsaures Kali“ Heute spricht man von „schwefelsaurem Calcium“ und „phosphorsaurem Kalium“, oder man hängt dem Namen des in dem Salz vertretenen Metalls eine aus dem Namen des säurebildenden Elementes hergeleitete Endung an, z. B..

Calciumsulfat, Kaliumphosphat usw.

Die folgende Zusammenstellung enthält die Bezeichnungen und Formeln einiger besonders wichtiger Salze nach der älteren und der neueren Anschauungsweise.

(Siehe die Zusammenstellung auf S. 26.)

§ 11.

Haloidsäuren, Haloidsalze. Mit den Elementen Fluor, Chlor, Brom, Jod gibt der Wasserstoff gasförmige Verbindungen von der Zusammensetzung:

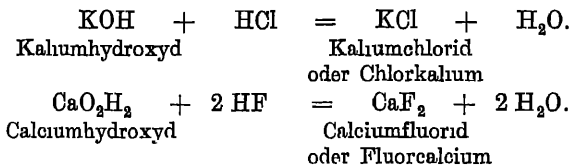
HF	HCl	HBr	HJ
Fluorwasserstoff [2])	Chlorwasserstoff [3])	Bromwasserstoff	Jodwasserstoff.

ein, die in Wasser leicht löslich sind und stark saure Reaktion (s. o.) zeigen. Mit Basen bilden sie Salze, z. B.:

$$KOH + HCl = KCl + H_2O.$$

Kaliumhydroxyd — Kaliumchlorid oder Chlorkalium

$$CaO_2H_2 + 2\,HF = CaF_2 + 2\,H_2O.$$

Calciumhydroxyd — Calciumfluorid oder Fluorcalcium

[1]) Die Ziffer 3 bezieht sich bei dieser Schreibweise nur auf die vor dem Komma stehende Atomgruppe.

[2]) Die Losung in Wasser wird auch Flußsaure genannt.

[3]) Die wassrige Losung wird auch Salzsaure genannt.

Sie sind also als (sauerstofffreie) Säuren zu betrachten, und sie werden, im Gegensatz zu den sauerstoffhaltigen Säuren oder „Sauerstoffsauren", als „Wasserstoffsäuren" (auch als „Haloidsäuren") bezeichnet.

Ihre Salze kann man auch als Verbindungen der oben genannten Elemente mit Metallen ansehen, und man bezeichnet sie daher als Fluor-, Chlor- usw. Metalle oder als Fluoride, Chloride, Bromide, Jodide (z B Chlornatrium oder Natriumchlorid, Fluorcalcium oder Calciumfluorid usw). Wegen ihrer Fähigkeit, mit Metallen salzartige Verbindungen zu bilden, nennt man die Elemente Fluor, Chlor, Brom, Jod, auch *Salzbildner* („Halogene"), während die Salze selbst als *Haloidsalze* bezeichnet werden.

Zum Abschluß der „Einfuhrung in die Bodenchemie" mögen noch einige Bemerkungen über chemische Vorgänge folgen, deren Erkenntnis erst die neuere Zeit gebracht hat, und die im wesentlichen durch elektrische Wirkungen veranlaßt werden.

§ 12.

Die elektrische Dissoziation oder Ionisation. Hydrolyse. Wie oben § 10 (Anm. zu S. 24) ausgeführt wurde, versteht man unter Dissoziation die Spaltung chemischer Verbindungen in verschiedene Bestandteile, wie sie z. B. durch hohe Temperaturen veranlaßt wird Eine besondere Art von Dissoziation, die elektrische Dissoziation oder „Ionisation" wird bei den Ausführüngen uber Kolloide (s. u) besprochen werden Nur folgendes dürfte schon hier zu erwähnen sein. Unter dem Einfluß elektrischer Krafte kann innerhalb des Molekuls, sowohl der einfachen (s. S 14) wie der zusammengesetzten Körper, der Zusammenhang der Atome derartig gelockert werden, daß bei chemischer Reaktion verschiedener Körper aufeinander (d h. bei Vorgängen, die — im Gegensatz zu den bloß physikalischen Erscheinungen — in einer *stofflichen Veränderung* der beteiligten Korper bestehen) die einzelnen Atome oder — bei chemischen Verbindungen — einzelne Atomgruppen, sogenannte *Ionen* oder *Elektronen*, als selbständige Eigenwesen austreten und in andere Verbindungen ubergehen. Dieser Vorgang macht sich besonders dadurch bemerkbar, daß die des festen molekularen Zusammenhangs beraubten Atome oder Atomgruppen eine besonders starke chemische Verwandtschaft zu anderen Stoffen zeigen und daher energischer auf diese einwirken, als sie es in ihrem fruheren „gesattigten" Zustand zu tun vermochten

Zu den Erscheinungen der elektrischen Dissoziation ist auch die „hydrolytische" Dissoziation oder „*Hydrolyse*" zu rehnen, bei der das elektrisch dissoziierte (in seine Ionen H und OH zerlegte) Wasser weit kraftiger spaltend auf andere Verbindungen, namentlich auf Salze, einwirkt als das nicht dissoziierte Wasser.

Erstes Kapitel.

Die Bestandteile der festen Erdrinde.

A. Die gesteinbildenden Mineralien. Ihr chemischer Charakter und ihr chemisches Verhalten.

§ 13.

Die so verschiedenartigen, die Erdrinde zusammensetzenden und bei ihrer weiteren Umwandlung den Boden bildenden *Gesteine* („Felsarten", „Gebirgsarten") bestehen aus *Mineralien*, d. h. leblosen (nicht oder doch nur sehr mittelbar von lebenden Wesen abstammenden), ihrer Hauptmasse nach in sich gleichartigen Naturkörpern, die sich nicht mehr oder nur auf chemischem Wege zerlegen lassen. Gesteine sind „Gemenge von Individuen einer oder mehrerer Mineralspezies" (Credner). Da die Umwandlung der Gesteine und die Art der dabei entstehenden Produkte sehr wesentlich von der Art der gesteinbildenden Mineralien abhängt, so haben wir uns zunächst mit der Zusammensetzung und dem chemischen Verhalten der letzteren zu befassen.

Ihrem chemischen Charakter nach lassen sich die wichtigeren an der Bodenbildung beteiligten *Mineralien* in die folgenden Gruppen teilen. *Kieselerde-Mineralien* und *kieselsaure Salze* oder Silikate, *kohlensaure Salze* oder Karbonate, *phosphorsaure Salze* oder Phosphate, *schwefelsaure Salze* oder Sulfate, *Schwefelmetalle* oder Sulfide, *Oxyde* und *Oxydhydrate* oder Hydroxyde

Nach ihrer Verbreitung nehmen die Kieselerde-Mineralien und die Silikate bei weitem die erste Stelle ein.

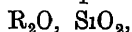
§ 14.

Die Kieselerde-Mineralien und ihr chemischer Charakter. Die Kieselerde, eine Verbindung des Elementes Silicium mit Sauerstoff von der Zusammensetzung SiO_2, daher auch chemischem Sprachgebrauch Siliciumdioxyd benannt, findet sich in ungeheuren Mengen im Boden, im Wasser und in den Pflanzen verbreitet. Wasserfrei und bisweilen kristallisiert kommt sie als *Quarz* mit zahlreichen weiß, grau, gelb, braun, rot, violett u. a. gefärbten Varietäten, in Sandform, d. h. in losen unverbundenen Körnern als *Quarzsand*, ferner als *Bergkristall*, als *Amethyst* u. a., amorph

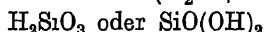
und dabei wasserhaltig als *Opal* im Boden vor Als Gemenge von wasserhaltiger amorpher und kristallisierter Kieselerde lassen sich ansehen: *Hornstein*, hervorgegangen aus gewissen Urtierchen („Radiolarien"), die in großen Meerestiefen leben und nach dem Absterben und Verwesen Kieselerde in reizenden Formen hinterlassen, ferner Feuerstein, Chalcedon und Achat. Brunnen-, Quell- und Seewasser, namentlich manche heiße Quellen enthalten nicht unbeträchtliche Mengen von Kieselerde (wahrscheinlich als „Hydroxyd", § 10) gelost und setzen sie als „Süßwasserquarz" oder „Kieselsinter" ab.

Auch andere niedere Lebewesen pflanzlicher und tierischer Art („Protozoen") nehmen aus dem Wasser, Süßwasser wie Meereswasser, Kieselerde auf Sie bildet die Stütze, das Skelett der nur unter dem Mikroskop erkennbaren Körperchen, bleibt nach deren Absterben in äußerst zierlichen Formen zurück, sinkt zu Boden und bildet stellenweise bis zu 100 m mächtige Lager von *Kieselgur* („Diatomeen"- oder „Infusorienerde"). Kieselgur ist eine weiße bis weißgraue mehlartige, kreideähnliche Masse [1]). Von gleicher Herkunft ist der in manchen Gebirgen schichtenweise vorkommende, zum Polieren und Schleifen dienende *Tripel* oder *Polierschiefer*.

Durch reines Wasser wird das Siliciumdioxyd so schwer in Lösung gebracht, daß man es gewöhnlich als unloslich betrachtet. In Kali- und Natronlauge (§ 10) sowie in Lösungen von Kalium- und Natriumkarbonat losen sich die verschiedenen natürlich vorkommenden Kieselerden in sehr verschiedenem Grade, die amorphen leicht, die kristallisierten sehr schwer, in der Regel um so leichter, je mehr Wasser sie enthalten

Nach älterer chemischer Anschauung, die in vielen Lehrbuchern der Mineralogie noch festgehalten wird, sah man das Siliciumdioxyd als eine Säure an (s o.) und bezeichnete es schlechtweg als Kieselsaure, Kieselsaure Salze oder Silikate galten als Verbindungen des Siliciumdioxyds mit Metalloxyden, erhielten also beispielsweise die chemische Formel

$$R_2O,\ SiO_2,$$

worin R ein einwertiges Metall bedeutet. Nach den heutigen chemischen Anschauungen (§ 10) wurde einer dem soeben angeführten Salz entsprechenen Kieselsäure die chemische Formel ($H_2O + SiO_2 =$)

$$H_2SiO_3 \text{ oder } SiO(OH)_2$$

zukommen. Eine Säure von dieser Zusammensetzung wird als „Metakieselsäure", die Verbindung SiO_2 mithin als das Anhydrid (§ 10) der Metakieselsaure bezeichnet.

---

[1]) Kieselgurlager finden sich sowohl im Diluvium als im Alluvium. Sie sind als Baugrund sehr gefurchtet. Ihr Material wird u. a. als schlechter Warmeleiter vielfach zu Isolierungen, ferner zum Aufsaugen des Nitroglyzerins bei der Dynamitfabrikation verwendet.

Ein großer Teil der in der Natur vorkommenden kieselsauren Salze läßt sich von der Metakieselsäure (s o.) ableiten, andere müssen als die Salze einer Saure von der Zusammensetzung ($2 H_2O + SiO_2 =$)H_4SiO_4 („Orthokieselsaure") angesehen werden. Die Meta- wie die Orthokieselsaure können auf kunstlichem Wege hergestellt werden; daß sie oder die eine oder andere von ihnen auch im freien Zustande in der Natur vorkommen, ist hochst wahrscheinlich, wenn es auch noch nicht gelungen ist, sie mit Sicherheit nachzuweisen. Übrigens setzt die Zusammensetzung einer großen Anzahl naturlich vorkommender Silikate das Vorhandensein von Kieselsauren voraus, in deren chemischer Formel mehrere Atome Silicium enthalten sind Zur Aufklärung ihrer Konstitution nimmt man an, daß zwei oder mehrere Molekule der Ortho- oder Metakieselsäure unter gleichzeitigem Austritt von Wasser zu sogenannten „Polykieselsäuren" sich zusammengelagert haben So kann entstehen·

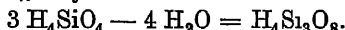
aus 2 Molekulen Metakieselsäure durch Austritt von 1 Molekul Wasser:
1 Molekul „Metadikieselsäure":

$$2 H_2SiO_3 - H_2O = H_2Si_2O_5,$$

aus 2 Molekulen Orthokieselsäure durch Austritt von 1 Molekul Wasser:
1 Molekul „Orthodikieselsäure":

$$2 H_4SiO_4 - H_2O = H_6Si_2O_7,$$

aus 3 Molekul Orthodikieselsäure durch Austritt von 4 Molekul Wasser:
1 Molekul „Polykieselsaure":

$$3 H_4SiO_4 - 4 H_2O = H_4Si_3O_8.$$

Im freien Zustande sind diese Säuren zwar nicht mit Sicherheit bekannt, jedoch scheinen viele naturlich vorkommende wasserhaltige Kieselerden (Opal, Chalcedon, Achat u. a.) aus ihnen zu bestehen

Beim Abscheiden aus ihren Salzen, das durch die Einwirkung von Säuren (auch von Kohlensaure) herbeigefuhrt werden kann (s. u.), bleiben nach Umstanden nicht unerhebliche Kieselsauremengen in Lösung. Unter gewissen Bedingungen bildet die ausgeschiedene Säure mit Wasser eine gallertartige Masse („kolloidale" Kieselsäure), die beim Eintrocknen fest wird, beim Gluhen das Wasser vollig verliert und sich in Siliciumdioxyd umwandelt.

§ 15.

Chemischer Charakter der kieselsauren Salze oder Silikate. Fruher betrachtete man diese Salze als Verbindungen von Siliciumdioxyd (SiO_2) mit Metalloxyden (§ 10) und unterschied je nach dem Verhältnis, in dem die mit Metall verbundene Sauerstoffmenge zu der an Silicium gebundenen steht, zwischen Singulo-, Bi-, Trisilikaten usw. So läßt sich z. B. das Silikat Olivin als eine Verbindung von 2 Molekulen Magnesiumoxyd (Magnesia) mit 1 Molekul Siliciumdioxyd ansehen·

$2\,MgO + SiO_2$; Verhältnis des Magnesiasauerstoffs zum Kieselerdesauerstoff wie 1 : 1.

Hiernach bezeichnete man den Olivin als ein *Singolusilikat*. Als Bisilikate sind anzusehen z. B. der *Enstatit*, dessen frühere Formel: $MgO + SiO_2$ auf 1 Atom Magnesiasauerstoff 2 Atome Kieselerdesauerstoff enthält, und ebenso der *Leucit*, den man sich nach der Formel K_2O, $Al_2O_3 + 4\,SiO_2$ zusammengesetzt dachte. Im Leucit ist neben dem Monoxyd K_2O noch ein Sesquioxyd[1]) Al_2O_3 enthalten. Derartige Silikate, die zwei verschiedene Metalle enthalten, und die zu den verbreitetsten gehoren, bezeichnete man als *Doppelsilikate* und gab ihnen beispielsweise den chemischen Ausdruck. $K_2O \cdot SiO_2 + Al_2O_3 \cdot 3\,SiO_2$.

Dieser älteren chemischen Anschauungsweise entspricht es, wenn man bei Mineralanalysen den Gehalt der Verbindungen an Kieselerde oder „Kieselsaure“ (SiO_2), an Kaliumoxyd oder Kali (K_2O), an Natriumoxyd oder Natron (Na_2O), an Calciumoxyd oder Kalk (CaO), an Magnesiumoxyd oder Magnesia (MgO), an Eisenoxydul (FeO), an Eisenoxyd (Fe_2O_3), an Aluminiumoxyd oder Tonerde (Al_2O_3) usw. auffuhrt.

Auf Grund der jetzigen Ansichten über die Anordnung der Elemente innerhalb chemischer Verbindungen leitet man die Silikate von den eigentlichen Kieselsäuren her, indem man sich deren Wasserstoff durch Metalle vertreten denkt. Durch Eintritt von 2 Atomen des zweiwertigen Magnesiummetalls an die Stelle der 4 Wasserstoffatome der Orthokieselsäure (H_4SiO_4) entsteht der *Olivin* Mg_2SiO_4, durch Eintritt von einem Magnesiumatom an Stelle der zwei Wasserstoffatome der Metakieselsäure (H_2SiO_3) der *Enstatit* $MgSiO_3$ Man kann sich diese Silikate auch als Verbindungen des vierwertigen „Säurerestes“ SiO_4 mit 2 Atomen Magnesium und des zweiwertigen „Säurerestes“ SiO_3 mit 1 Atom Magnesium vorstellen. In den mehrwertige Metallatomkomplexe enthaltenden Silikaten denkt man sich jene mit zwei oder mehr Säureresten verbunden, so im *Leucit* $K_2Al_2(SiO_3)_4$ die achtwertige Atomgruppe K_2Al_2 mit 4 zweiwertigen Säureresten SiO_3.

Wenn es bis jetzt auch noch nicht in befriedigender Weise gelungen ist, die zahlreichen, außerst mannigfaltig zusammengesetzten Silikate in ein chemisches System zu bringen, so läßt sich doch die Zusammensetzung der überwiegenden Mehrzahl zwanglos von den bereits fruher erwähnten Kieselsäuren:

[1]) Unter „Monoxyden“ versteht man solche Sauerstoffverbindungen, in denen mit einem Atom Sauerstoff 2 Atome eines einwertigen oder 1 Atom eines zweiwertigen Elementes verbunden sind, z. B. K_2O, Na_2O, CaO, MgO usw. In einem „Sesquioxyd“ kommen auf 3 Atome Sauerstoff 2 Atome eines anderen Elementes, z. B. Al_2O_3 oder Fe_2O_3. Die Atomgruppen Al_2 und Fe_2 betrachtet man als sechswertig (s. o. S. 20 Anm. 1).

Orthokieselsäure	Metakieselsäure	Orthodikieselsäure	Metadikieselsäure	Polykieselsäure
H_4SiO_4	H_2SiO_3	$H_6Si_2O_7$	$H_2Si_2O_5$	$H_4Si_3O_8$

theoretisch herleiten. So z. B. wichtige Glieder der Feldspatgruppe, Orthoklas, Albit (s. u.) von der Polykieselsaure, der Cordierit: $Mg_3Al_6(Si_2O_7)_4$ von der Orthodikieselsäure usw.

Die natürlich vorkommenden sowie die kunstlich hergestellten Silikate sind entweder *wasserhaltig* oder *wasserfrei*. Die ersteren geben zum Teil das Wasser bereits bei mäßigem Erhitzen ab; man nimmt in diesem Fall an, daß es in molekularer Verbindung mit dem Salz vorhanden sei, und bezeichnet es als *Kristallwasser*. So bei der Mehrzahl der Zeolithe (s. u.), z. B. beim Analcim: $Na_2Al_2(SiO_3)_4 + 2\ H_2O$. Bei anderen beteiligen sich die Elemente des Wassers am Aufbau des Silikatmolekuls selbst. Solche Mineralien verlieren das Wasser erst bei sehr heftigem Gluhen, und man spricht in diesem Fall von *basischem* oder *Konstitutionswasser*. So enthalt z. B. der Kaolin (s. u.) neben Kristallwasser noch basisches Wasser, was durch die chemische Formel $H_2Al_2Si_2O_8 + H_2O$ angedeutet wird.

Die *Mannigfaltigkeit* der natürlich vorkommenden Silikate wird nicht nur durch die abweichende Zusammensetzung der verschiedenen Kieselsäuren und die große Anzahl von Metallen, die in sie eintreten konnen, sondern besonders auch dadurch bedingt, daß jedes darin enthaltene Metall zu großeren oder kleineren Teilen durch gleichwertige Metalle vertreten werden kann, so Kalium durch Natrium oder Ammonium, Calcium durch Magnesium, Aluminium
mineralische Gesamtcharakter, i

§

Ordnung der Silikate nach Gruppen. Von den an dei
beteiligten Silikaten folgen hier zunächst diejenigen, die kein
wasser enthalten.

1. *Die Gruppe der Feldspate.* Sie enthalten neben Aluminium stets noch ein oder mehrere Metalle der Alkalien oder alkalischen Erden. a) *Orthoklas* oder „Kalifeldspat". Weiß, rotlich oder gelb. Einfachste Zusammensetzung $K_2Al_2\ (S_3O_8)_2$. Gewohnlich ist ein kleiner Teil des Kaliums durch Natrium ersetzt, auch enthält das Silikat haufig geringe Mengen von Calcium, Magnesium und Eisen. Eine Abart ist der „Sanidin" oder „glasige Feldspat". b) *Die Plagioklase.* Sie unterscheiden sich in ihrer Kristallform vom Orthoklas. Ihre wichtigsten Arten sind: der dem Orthoklas gleich zusammengesetzte *Mikroklin*, der *Albit* oder „Natronfeldspat"; einfachste Zusammensetzung $Na_2Al_2(Si_3O_8)_2$; der *Anorthit* oder „Kalkfeldspat" $CaAl_2(SiO_4)_2$. Im Albit pflegt ein Teil des Natriums durch Kalium oder Calcium, im Anorthit eine Teil des Calciums durch

Kalium, Natrium oder Magnesium vertreten zu sein Als Mischungen von Albit und Anorthit sind anzusehen der *Oligoklas* und der *Labrador*. Im ersteren scheint der Albit, im letzteren der Anorthit vorzuherrschen. Beide Mineralien enthalten kein oder nur wenig Kalium

2. *Die Nephelin- oder Leucitgruppe* mit dem an Kali reichen *Leucit* $K_2Al_2(SiO_3)_4$ und den natronreichen Mineralien *Nephelin* $(NaK)_2Al_2(SiO_4)_2$ und *Sodalith* $3\,Na_2Al_2(SiO_4)_2 + 2\,NaCl$ Im Leucit kann ein kleiner Teil des Kaliums durch Natrium vertreten sein, im Nephelin ist das Natrium stets vor dem Kalium vorwiegend.

3 *Die Augit- und Hornblende-Gruppe*. Die wichtigsten Glieder dieser Gruppe, Augit und Hornblende, enthalten stets Calcium und Magnesium, meist auch Eisen. Einige Arten enthalten außerdem Aluminium, andere nicht. a) *Augit* oder „Pyroxen" (schwarz, glasglänzend), einfachste Zusammensetzung· $CaMg(SiO_3)_2$ Der Gehalt an Calcium pflegt den an Magnesium zu uberwiegen. Alkalimetalle sind gewohnlich nicht, Aluminium in geringen Mengen vorhanden Dem Augit nahe stehen b) der *Enstatit* ($MgSiO_3$), c) der *Hypersthen*, in denen Eisen vorhanden zu sein, das Calcium aber fast ganz zu fehlen pflegt, und d) der *Diallag*, der etwas Aluminium, ziemlich viel Eisen und etwas Wasser enthält Durch ihre vollkommenere Spaltbarkeit unterscheiden sich die Glieder der Hornblendereihe von denen der Augitreihe, denen sie hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung sehr ahnlich sind. *Hornblende* oder „Amphibol", grünlich schwarz, enthält etwas weniger Calcium und Aluminium als der Augit, dafur fast immer Alkalimetalle

4. *Die Gruppe der Glimmer* Die durch ihren schimmernden Glanz und durch ihre große Spaltbarkeit ausgezeichneten Glimmer gehoren neben den Feldspaten zu den besonders häufig vorkommenden bodenbildenden Mineralien. Sie enthalten neben Aluminium Metalle der Alkalien und alkalischen Erden in so wechselnden Verhältnissen, daß eine chemische Formel noch nicht aufgestellt werden konnte. Die wichtigsten Glieder der Gruppe sind. a) der entweder farblose oder goldig oder silbrig glänzende *Muscovit* oder „Kaliglimmer" („Katzengold", „Katzensilber"), der neben Aluminium und Kalium meistens kleine Mengen Natrium, dagegen Calcium und Magnesium gar nicht oder nur in sehr untergeordneten Mengen enthalt; b) der *Biotit* oder „Magnesiaglimmer" mit seinem metallartigen Perlmutterglanz, meistens schwarz oder dunkelgrun gefarbt Er zeichnet sich durch hohen Gehalt an Magnesium und oft auch an Eisen aus, enthalt aber auch stets Kalium und etwas Natrium

5. *Die Cordieritgruppe*. Der *Cordierit* oder „Dichroit", einfachste Zusammensetzung: $Mg_3Al_8\,(Si_2O_7)_4$,enthält neben dem Aluminium stets großere oder geringere Mengen Eisen und etwas Calcium.

6. *Die Granatgruppe*. Von den in ihrer Zusammensetzung sehr wechseln-

den Gliedern dieser Gruppe beteiligt sich nur der *gemeine Granat* an der Bodenbildung. Einfachste Zusammensetzung. $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$. Meistens enthält er außer Calcium und Aluminium noch Magnesium und Eisen.

7. *Die Olivingruppe* Die Silikate dieser Gruppe enthalten als wesentliches Metall nur Magnesium, von dem ein Teil durch Eisen ersetzt ist; das wichtigste ist der olivengrüne *Olivin* oder „Peridot“ Einfachste Formel: Mg_2SiO_4. Der Gehalt an Eisen ist starken Schwankungen unterworfen.

8. *Die Epidotgruppe.* Der *Epidot* oder „Pistazit“ enthält neben Aluminium noch Calcium und Konstitutionswasser (s S. 33). Ein Teil des Aluminiums ist durch Eisen vertreten. Außerdem enthält er nicht selten, von Einschlussen herrührend, kleine Mengen Magnesium, Kalium und Natrium

9. *Die Turmalingruppe.* Die Glieder dieser Gruppe enthalten bei äußerst wechselnder Zusammensetzung stets etwas Konstitutionswasser. Im meist schwarzen gemeinen *Turmalin* oder „Schörl“ finden sich neben Aluminium noch Magnesium, Eisen, Alkalimetalle und Wasserstoff, meistens auch Calcium.

Kristallwasser enthalten die Glieder der nun folgenden Gruppen:

10. *Die Chloritgruppe.* Die Silikate der Chloritgruppe entstehen vielfach durch Umwandlung anderer magnesium- und eisenhaltiger Mineralien Hinsichtlich ihrer Spaltbarkeit nähern sie sich den Glimmern Der *Chlorit,* lauchgrun oder graugrün, fettig glänzend, enthalt neben Aluminium noch Magnesium, Eisen und Kristallwasser

11 *Die Talk- und Serpentingruppe* Die Glieder dieser Gruppe, die als hauptsachlichstes Metall Magnesium enthalten, sind aus der naturlichen Umwandlung magnesiumhaltiger Mineralien, namentlich von Olivin (s o.) hervorgegangen. a) *Talk* oder „Speckstein“ Weißlich bis gelb, fettig anzufuhlen. Einfachste Zusammensetzung· $H_2Mg_3(SiO_3)_4$ (wobei das erst bei starkem Gluhen entweichende Wasser als Konstitutionswasser angesehen wird), er enthalt meist etwas Eisen und Aluminium. b) *Serpentin* $H_2Mg_3(SiO_4)_2 + H_2O$ Gelbgrun bis schwarzgrün, „schlangenhautfarbig“ (Walther). Ein größerer oder kleinerer Teil des Magnesiums ist fast stets durch Eisen vertreten. c) *Meerschaum* $Mg_2Si_3O_8$, gelblich-, grau- oder reinweißes, sehr poröses, daher stark lufthaltiges und auf dem Wasser schwimmendes Mineral. Saugt begierig Wasser auf und haftet fest an der Zunge d) *Glaukonit* Das Mineral besitzt eine sehr schwankende Zusammensetzung, an der sich Eisen, Kalium und Wasser stets, haufig auch Aluminium und Magnesium, selten aber Calcium beteiligen.

12. *Gruppe der Zeolithe* Die Zeolithe sind Umwandlungsprodukte anderer Mineralien, namentlich aus der Feldspat- und Leucitgruppe Sie enthalten neben reichlichen Wassermengen Calcium oder Natrium oder beide Elemente, meist auch Aluminium, nicht selten Kalium und Magne-

Übersicht über die prozentische Zusammensetzung der wichtigsten bodenbildenden Silikate.

Bezeichnung des Silikates	Einfachster chemischer Ausdruck	Prozentischer Gehalt an: Wasser H_2O	Kiesel-erde SiO_2	Tonerde Al_2O_3	Kali K_2O	Natron Na_2O	Kalk CaO	Magnesia MgO
1. Feldspate:								
Orthoklas (Kalifeldspat), Sanidin, Mikroklin . . .	$K_2Al_2(Si_3O_8)_2$	—	64,6	18,59	16,9	—	—	—
		Kleine Mengen CaO, MgO, Fe_2O_3 und 2—3 % Na_2O						
Plagioklase: Albit	$Na_2Al_2(Si_3O_8)_2$	—	68,6	19,6	—	11,8	—	—
		Außerdem CaO, Fe_2O_3						
Plagioklase: Anorthit	$CaAl_2(SiO_4)_2$	—	43,0	36,9	—	—	20,1	—
		Außerdem Fe_2O_3, K_2O und Na_2O						
Plagioklase: Oligoklas[1])		—	66,5—61,9	21,0—24,1	—	10,9—8,7	1,6—5,3	—
		Außerdem MgO, Fe_2O_3, K_2O						
Plagioklase: Labrador[2])		—	55,4—49,2	28,5—32,7	—	5,7—2,8	10,4—15,3	—
		Außerdem MgO, Fe_2O_3, K_2O						
2. Nephelin- u. Leucitgruppe:								
Leucit	$K_2Al_2(SiO_3)_4$	—	54,9	23,6	21,5	—	—	—
		Außerdem stets Na_2O, bisweilen CaO und FeO						
Nephelin	$(NaK)_2Al_2(SiO_4)_2$	—	45,0—45,3	33,1—34,5	4,4—5,1	15,6—17,2	—	—
		Außerdem bisweilen CaO						
Sodalith.	$3\,Na_2Al_2(SiO_4)_2 + 2\,NaCl$	—	37,0	31,8	—	19,2	—	—
		Außerdem 4,7 % Na an 7,3 % Cl geb. Oft kleine Mengen K_2O, auch CaO, Na_2O, Fe_2O_3						
3. Augit und Hornblende:								
Augit (Pyroxen)	$CaMg(SiO_3)_2$	—	47—52	4—9	—	—	20—23	13—16
		Enthält fast stets FeO, keine Alkalien						
Hornblende (Amphibol) .	Ebenso	—	38—52	4—15	—	—	10—12	12—23
		Enthält meist FeO, Fe_2O_3 und Alkalien (bis 11 %)						
4. Glimmergruppe:								
Kaliglimmer (Muscovit). .	$K_2Al_2(SiO_4)_2$	—	46—50	25—35	8—12	—	—	—
		Daneben meist Fe_2O_3 (—8 %), häufig etwas Na_2O (—4,1 %), bisweilen etwas CaO, MgO						
Magnesiaglimmer (Biotit).	$MgAl_2(SiO_4)_2$	—	39—44	6—34	—	—	—	10—30
		Außerd. meist H_2O, FeO, (—23,4 %), Fe_2O_3 (37,4 %), häufig K_2O (—10,6 %), Na_2O (—5,4 %)						

5. Cordierit (Dichroit) . . .	$Mg_3Al_6(Si_2O_7)_4$	—	52,8	34,0	—	—	—	13,2
		Enthält stets etwas Eisenoxyd (—9%) und kleine Mengen CaO						
6 Gemeiner Granat	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	—	40,0	22,8	—	—	37,2	—
		Daneben fast immer Fe_2O_3 (—31,5%) und MgO						
7 Olivin (Peridot)	Mg_2SiO_4	—	42,9	—	—	—	—	57,1
		Ein großer Teil der MgO fast stets durch FeO ersetzt (8—30% FeO)						
8 Epidot (Pistazit)		ca 2	36—40	18—29	—	—	21—25	—
		Außerdem 7—17% Fe_2O_3						
9 Turmalin		—	ca 38	30—40	—	—	—	—
		Daneben meist größere Mengen (10—18%) MgO, wenig K_2O, Na_2O, CaO, FeO u H_2O						
10 Chlorit		9—12	25—28	19—23	—	—	—	13—25
		Außerdem 15—29% FeO und MgO						
11. Talk und Serpentine:								
Talk (Speckstein)	$H_2Mg_3(SiO_3)_4$	4,8	63,5	—	—	—	—	31,7
		Außerdem bisweilen wenig Al_2O_3 und FeO						
Serpentin	$H_2Mg_3(SiO_4)_2 + H_2O$	12	43,5	—	—	—	—	43,5
		Daneben meist FeO (bis 10%), wenig CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3						
Meerschaum	$Mg_2Si_3O_8$		69,2 [3])	—	—	—	—	30,8 [3])
Glaukonit			47—58	—	3—9	—	—	—
		m 3—22% FeO, oft Al_2O_3 (—10%), Fe_2O_3 (—22%) u. wenig CaO (—2,4%)						
12 Zeolithe:								
Mesotyp, a) Natrolith . .	$Na_2Al_2Si_3O_{10}$ + 2 I		47,3	27,0	—	16 3	—	—
		Außerdem etwas K_2O und CaO						
b) Skolezit . . .	$CaAl_2Si_3O_{10}$ + 3 E		45,8	26,1	—	—	14,3	—
		Daneben etwas K_2O und Na_2O						
Analcim	$Na_2Al_2(SiO_3)_4$ + 2		54,4	23,3	—	14,1	—	—
		Daneben etwas K_2O und CaO						
Stilbit	$CaAl_2Si_6O_{16}$ + 5 E		59,1	16,9	—	—	9,2	—
		Außerdem etwas K_2O und Na_2O						
13. Kaolin	$H_2Al_2(SiO_4)_2$ + H		46,4	39 7	—	—	—	—
		ußerdem meist K_2O, Na_2O, CaO, MgO, FeO, Fe_2O_3 und oft CO_2.						

[1]) 6—3 Molekule Albit verbunden mit 1—2 M rthit.
[2]) 1 Molekul Albit verbunden mit 2—6 Molek t.
[3]) Berechnet nach der chemischen Formel.

sium, diese aber nur in geringen Mengen. Zu den wichtigeren Gliedern der Gruppe gehören. a) der ***Mesotyp*** mit den Unterarten Natrolith $Na_2Al_2Si_3O_{10} + 2\,H_2O$ und Skolezit $CaAl_2Si_3O_{10} + 3\,H_2O$, b) der ***Analcim*** $Na_2Al_2(SiO_3)_4 + 2\,H_2O$, c) der *Stilbit* $CaAl_2Si_6O_{16} + 5\,H_2O$.

13. *Die Gruppe der Tonmineralien.* So wichtig die Tonmineralien für die Bodenbildung sind, so große Schwierigkeiten stellen sich ihrer Erforschung in den Weg. Sie sind durchweg Verwitterungsprodukte von aluminiumhaltigen Mineralien, namentlich von Feldspaten, in den verschiedensten Stadien der Umwandlung Von Metallen überwiegt stets das Aluminium, jedoch findet sich häufig auch ein größerer oder geringerer Gehalt an Eisen, Calcium, Magnesium. Am besten bekannt ist der *Kaolin* („Porzellanerde") $H_2Al_2(SiO_4)_2 + H_2O$ Er enthält außer dem Kristallwasser noch Konstitutionswasser, das erst bei sehr hoher Temperatur sich verflüchtigt. Was man gewöhnlich „*Ton*" nennt, ist ein Gemenge von wasserhaltigem Aluminiumsilikat mit zahlreichen, zu feinstem Sand zerriebenen Mineralien verschiedenster Art.

§ 17.

Einen ***Überblick*** *über den prozentischen Gehalt* der oben besprochenen Mineralien an den wichtigeren bodenbildenden Bestandteilen gewährt die Tabelle S 36 und 37. Soweit sich aus den vorhandenen Analysen eine chemische Formel für die Zusammensetzung der Silikate herleiten läßt, ist diese mit aufgeführt, und es sind dann allermeist die hieraus berechneten prozentischen Zahlen (die „theoretische" oder „schematische" Zusammensetzung) angegeben worden. Bei der so außerordentlich schwankenden Zusammensetzung der Silikate können diese Zahlen natürlich nur einen ungefähren Anhalt bieten. In einigen Fällen und überall da, wo die Aufstellung eines chemischen Ausdrucks noch nicht gelungen ist, wurden nur die aus den vorliegenden chemischen Analysen entnommenen Grenzwerte [1]) eingestellt. Bei einem jeden der in die Tabelle aufgenommenen Silikate sind in Kleindruck dann noch die Bestandteile angefügt, welche stets, gewöhnlich oder selten, in größeren oder geringeren Mengen an seiner Zusammensetzung teilnehmen.

Ordnet man die in der umstehenden Tabelle aufgeführten Mineralien in absteigender Reihe nach dem prozentischen Gehalt an bodenbildenden Bestandteilen, wie er sich aus der chemischen Formel sowie aus den Analysen ergibt, so erhält man die folgenden Reihen:

a) *Nach dem Gehalt an Kali* (K_2O) (Kaligehalt sinkt von ca. 21,5 bis auf ca 3 %): Leucit — Orthoklas (Sanidin, Mikroklin) — Muscovit (Kaliglimmer) — Biotit (Magnesiaglimmer) — Nephelin — Glaukonit

b) *Nach dem Gehalt an Natron* (Na_2O) (Natrongehalt sinkt von ca

[1]) Allermeist der „Allgemeinen und Chemischen Geologie" von J Roth. Bd. 1, Berlin 1879, entnommen

sium, diese aber nur in geringen Mengen. Zu den wichtigeren Gliedern der Gruppe gehoren: a) der *Mesotyp* mit den Unterarten Natrolith $Na_2Al_2Si_3O_{10} + 2\,H_2O$ und Skolezit $CaAl_2Si_3O_{10} + 3\,H_2O$, b) der *Analcim* $Na_2Al_2(SiO_3)_4 + 2\,H_2O$, c) der *Stilbit* $CaAl_2Si_6O_{16} + 5\,H_2O$

13 *Die Gruppe der Tonmineralien.* So wichtig die Tonmineralien fur die Bodenbildung sind, so große Schwierigkeiten stellen sich ihrer Erforschung in den Weg Sie sind durchweg Verwitterungsprodukte von aluminiumhaltigen Mineralien, namentlich von Feldspaten, in den verschiedensten Stadien der Umwandlung. Von Metallen uberwiegt stets das Aluminium, jedoch findet sich haufig auch ein großerer oder geringerer Gehalt an Eisen, Calcium, Magnesium Am besten bekannt ist der *Kaolin* („Porzellanerde") $H_2Al_2(SiO_4)_2 + H_2O$ Er enthalt außer dem Kristallwasser noch Konstitutionswasser, das erst bei sehr hoher Temperatur sich verflüchtigt Was man gewohnlich „*Ton*" nennt, ist ein Gemenge von wasserhaltigem Aluminiumsilikat mit zahlreichen, zu feinstem Sand zerriebenen Mineralien verschiedenster Art

§ 17.

Einen *Überblick uber den prozentischen Gehalt* der oben besprochenen Mineralien an den wichtigeren bodenbildenden Bestandteilen gewährt die Tabelle S 36 und 37 Soweit sich aus den vorhandenen Analysen eine chemische Formel fur die Zusammensetzung der Silikate herleiten laßt, ist diese mit aufgeführt, und es sind dann allermeist die hieraus berechneten prozentischen Zahlen (die „theoretische" oder „schematische" Zusammensetzung) angegeben worden. Bei der so außerordentlich schwankenden Zusammensetzung der Silikate konnen diese Zahlen natürlich nur einen ungefähren Anhalt bieten In einigen Fällen und uberall da, wo die Aufstellung eines chemischen Ausdrucks noch nicht gelungen ist, wurden nur die aus den vorliegenden chemischen Analysen entnommenen Grenzwerte [1]) eingestellt. Bei einem jeden der in die Tabelle aufgenommenen Silikate sind in Kleindruck dann noch die Bestandteile angefugt, welche stets, gewöhnlich oder selten, in großeren oder geringeren Mengen an seiner Zusammensetzung teilnehmen.

Ordnet man die in der umstehenden Tabelle aufgeführten Mineralien in absteigender Reihe nach dem prozentischen Gehalt an bodenbildenden Bestandteilen, wie er sich aus der chemischen Formel sowie aus den Analysen ergibt, so erhalt man die folgenden Reihen·

a) *Nach dem Gehalt an Kali* (K_2O) (Kaligehalt sinkt von ca. 21,5 bis auf ca. 3 %): Leucit — Orthoklas (Sanidin, Mikroklin) — Muscovit (Kaliglimmer) — Biotit (Magnesiaglimmer) — Nephelin — Glauconit

b) *Nach dem Gehalt an Natron* (Na_2O) (Natrongehalt sinkt von ca

[1]) Allermeist der „Allgemeinen und Chemischen Geologie" von J Roth. Bd. 1, Berlin 1879, entnommen.

19 bis auf ca. 4 %). Sodalith — Natrolith — Nephelin — Analcim — Albit — Oligoklas — Labrador

c) *Nach dem Gehalt an Kalk* (CaO) (Kalkgehalt sinkt von ca. 37 bis auf ca. 2 %). Granat — Epidot (Pistazit) — Augit — Anorthit — Skolezit — Labrador — Hornblende — Stilbit — Oligoklas.

d) *Nach dem Gehalt an Magnesia* (MgO) (Magnesiagehalt sinkt von ca. 57 bis auf ca. 10 %)· Olivin (Peridot) — Serpentin — Talk (Speckstein) — Biotit (Magnesiaglimmer) — Chlorit — Hornblende (Amphibol) — Augit (Pyroxen) — Cordierit (Dichroit) — Turmalin.

e) *Nach dem Gehalt an Ferrooxyd* (FeO) (Eisenoxydulgehalt sinkt von ca. 30 bis auf ca. 2 %)· Olivin — Talk — Augit — Hornblende.

f) *Nach dem Gehalt an Ferrioxyd* (Fe_2O_3) (Eisenoxydgehalt sinkt von ca 16 bis auf ca. 0,5 %) Epidot — Hornblende — Cordierit — Augit.

g) *Nach dem Gehalt an Tonerde* (Al_2O_3) (Aluminiumoxydgehalt sinkt von ca 40 bis auf ca 4 %). Kaolin — Turmalin — Anorthit — Muscovit — Cordierit — Nephelin — Biotit — Sodalith — Labrador — Natrolith — Skolezit — Leucit — Analcim — Granat — Oligoklas — Epidot — Chlorit — Albit — Orthoklas — Stilbit — Augit — Hornblende.

h) *Nach dem Gehalt an Kieselerde* (SiO_2) (Siliciumdioxydgehalt sinkt von ca. 68 bis auf ca. 25 %)· Albit — Orthoklas — Oligoklas — Talk — Stilbit — Leucit — Labrador — Analcim — Glauconit — Cordierit — Augit — Muscovit — Hornblende — Skolezit — Kaolin — Nephelin — Anorthit — Olivin — Biotit — Granat — Epidot — Turmalin — Chlorit.

§ 18.

Das chemische Verhalten der Silikate. In reinem Wasser leicht löslich sind nur gewisse Silikate, deren Vorkommen in der Natur nach nicht mit Sicherheit nachgewiesen (wenn auch wahrscheinlich) ist, die sich aber auf künstlichem Wege leicht herstellen lassen. das *Kaliumsilikat* („Kaliwasserglas“) und das *Natriumsilikat* („Natronwasserglas“) Durch heißes Wasser wird aus den meisten *natürlichen Silikaten* etwas gelost und dadurch dem ersteren eine alkalische Reaktion mitgeteilt Erfolgt das Erhitzen mit Wasser unter Druck, so lösen sich die meisten Kristallwasser enthaltenden Silikate (Zeolithe, s o.) auf, um beim Erkalten wieder auszukristallisieren, andere Silikate werden dadurch in einen in Wasser loslichen, alkalisch reagierenden und in einen unloslichen Teil zerspalten

Auch gegen Säuren verhalten sich die verschiedenen Silikate sehr verschieden. Die in Wasser loslichen werden schon durch schwache Säuren, z B Kohlensaure, Weinsaure, Zitronensaure, mit Leichtigkeit zersetzt Bei den übrigen erfolgt eine schnellere Zersetzung unter Abscheidung von Kieselsaure nur unter dem Einfluß starkerer Säuren, z B. von Salzsäure. Durch diese (im verdunnten Zustande) werden die Zeolithe schon bei ge-

wöhnlicher Temperatur vollständig in Kieselsäure und Chlorverbindungen gespalten; auf Anorthit, Leucit u. a. wirkt erst konzentrierte Säure ein, während bei wieder anderen, z B bei Cordierit, Augit, Chlorit, Oligoklas, unter gewohnlichem Druck die Zerlegung nur unvollständig erfolgt

Trotz der Widerstandsfähigkeit der naturlichen Silikate gegen schwache Sauren bringt die *Kohlensaure* im Verein mit Wasser und Sauerstoff doch allmahlich große Veranderungen in ihnen hervor („Massenwirkung" s S 17). In den eisenoxydulhaltigen wird unter dem Einfluß des Luftsauerstoffs das Ferrooxyd in Ferrioxyd umgewandelt ($2 FeO + O = Fe_2O_3$) und dadurch der Zusammenhalt der Bestandteile gelockert. Das eindringende kohlensäurehaltige Wasser fuhrt allmahlich das Kalium und Natrium, das Calcium, Magnesium und Eisen der Silikate in lösliche Carbonate uber, die dann durch das Wasser ausgewaschen und entfernt werden, während wasserhaltige Silikate (Zeolithe) zuruckbleiben. Durch Berührung mit anderen Salzen werden ferner Wechselzersetzungen (s. S 17) herbeigeführt, die die Entstehung andersartiger Silikate zur Folge haben.

Auch durch Hydrolyse (S. 28) werden die Silikate in der Weise umgewandelt, daß daraus entweder freie Kieselsaure oder ein Teil der basischen Bestandteile (Kali, Kalk u a) abgeschieden und dadurch befähigt wird, energischer auf andere Bodenbestandteile einzuwirken [1])

Diesen Vorgängen, deren Chemismus im folgenden noch eingehender besprochen werden wird, ist es zuzuschreiben, daß ein Teil der oben aufgefuhrten Silikate als Abkömmlinge eines anderen Teils derselben angesehen werden muß. So gehen z. B. der *Cordierit*, der *Turmalin* in *Glimmer* über. Von den Glimmern ist der *Kaliglimmer*, obwohl er bei seiner großen Spaltbarkeit durch mechanische Einflusse in äußerst feine Blattchen zerteilt wird, äußerst widerstandsfähig, dagegen erleidet der *Magnesiaglimmer* eine Umwandlung in reine Magnesiumsilikate oder in Glieder der *Chloritgruppe* Auch der *Chlorit* wird trotz seiner großen Spaltbarkeit nur schwer von den natürlichen Agenzien angegriffen, wandelt sich jedoch allmahlich unter Abscheidung von Kieselerde in Form von Quarz und Chalcedon in Magnesiumkarbonat um Im *Olivin* geht das Eisenoxydul durch Aufnahme von Sauerstoff in Eisenoxyd, der Rest in Serpentin und dieser haufig in Magnesiumkarbonat oder in Magnesiumoxyd (MgO, „Brucit") über.

Von den Gliedern der *Augitgruppe* zerfallt der gemeine *Augit* unter Abgabe von Calcium und Magnesium (in Form von Karbonaten, s. u) und unter Aufnahme von Aluminium, Eisen und Kalium verhältnismäßig schnell in eine zerreibliche, meist Kaliumkarbonat und Calciumkarbonat enthaltende Masse, genannt „Grünerde", die sich gewohnlich in einen eisenreichen Ton

[1]) Man ist heute geneigt, der Hydrolyse eine weit eindringlichere Wirkung auf den Zerfall der Silikate im Boden zuzugestehen als der Kohlensäure.

§ 19.

Die **kohlensauren Salze** oder **Karbonate** beteiligen sich gleichfalls in großem Umfang an der Bodenbildung sowie auch an dem Aufbau tierischer Organismen Die Knochen bestehen zu einem kleineren Teil, die Muschel- und Schneckengehause sowie die Eierschalen zum größeren Teil aus Calciumkarbonat

Kohlendioxyd, Kohlensäure, Karbonate. Chemischer Charakter. *Chemisch* betrachtete man früher die *Karbonate* als Verbindungen von Metalloxyden mit Kohlendioxyd, die man als „Kohlensäure" bezeichnete (S. 24). Das Kohlendioxyd, eine gasformige Verbindung von 1 Atom Kohlenstoff mit 2 Atomen Sauerstoff: CO_2, wird bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Korper sowie bei deren Verwesung, Fäulnis und Gärung gebildet und ferner durch den tierischen Atmungsprozeß der atmosphärischen Luft zugeführt. Auf 1 Raumteil Sauerstoff + Stickstoff enthält die letztere 0,0003—0,0004 Raumteile Kohlendioxyd, oder es beträgt der Gehalt der atmospharischen Luft an Kohlendioxyd 0,029 Volumprozent (0,044 Gewichtsprozent) Fast alle naturlichen Wässer enthalten Kohlendioxyd gelost. Da die Bodenluft reicher an diesem Gase zu sein pflegt als die atmosphärische Luft, so ist auch der Kohlendioxydgehalt des unterirdischen Wassers großer als der des oberflächlich fließenden. Besonders reich an Kohlendioxyd sind gewisse Mineralquellen, die man als „Sauerlinge" bezeichnet.

Da Wasser, worin Kohlendioxyd gelöst ist, einen sauerlichen Geschmack besitzt und blaue Pflanzenfarben in rote uberfuhrt, so ist man zu der Annahme berechtigt, daß es die wirkliche *Kohlensäure* H_2CO_3 enthält, eine Verbindung von so geringer Beständigkeit, daß sie bereits beim Abdunsten des Wassers wieder in Kohlendioxyd und Wasser zerfällt: $H_2CO_3 = H_2O + CO_2$. Als Salze dieser Säure sieht man die natürlich vorkommenden normalen und sauren (§ 10) Karbonate an.

Von den normalen Karbonaten lösen sich nur die der Alkalimetalle in reinem Wasser, die sauren sind sämtlich löslich.

1 *Karbonate der Alkalimetalle. Kaliumkarbonat* findet sich in der Natur als Bestandteil des Boden- und Flußwassers, *Natriumkarbonat* als Gemenge von normalem und saurem Salz, außerdem als Belag („Ausschwitzung", „Efflorescenz") auf natriumhaltigen Gesteinen und Böden und als („Trona" genannter) Ruckstand bei der Austrocknung der sogenannten „Natronseen". *Ammoniumkarbonat* findet sich in manchen Guanos, es entsteht bei der Zersetzung des im tierischen Harn enthaltenen Harnstoffs (daher Bestandteil des Stalldüngers) wie auch bei der Fäulnis anderer stickstoffhaltiger Stoffe Die atmospharische Luft enthält Spuren dieses fluchtigen Korpers, die mit den atmosphärischen Niederschlagen dem Boden zugefuhrt werden Das für die Bodenbildung weitaus bedeutsamste kohlensaure Salz ist:

2. Das *normale Calciumkarbonat* $CaCO_3$. In völlig reinem Zustand liefert es bei seiner Zersetzung (§ 4) 56 % Calciumoxyd (CaO) und 44 % Kohlendioxyd (CO_2). In der Natur kommt es hauptsächlich in folgenden Mineralien vor: *Kalkspat* (kristallisiert), Marmor und Kalkstein (kristallinisch oder dicht), ferner Tropfstein, Kalktuff und Kreide. *Tropfstein* findet sich in Kalksteinhöhlen und hat sich hier aus wässeriger Lösung in eigentumlichen Formen („Stalaktiten" und „Stalagmiten") ausgeschieden. Der *Kalktuff* ist als ein Absatz von Calciumkarbonat aus Wasser unter der Mitwirkung von Kohlensäure entziehenden Pflanzen anzusehen, und die *Kreide* verdankt zum großen Teil mikroskopischen tierischen Wesen ihren Ursprung. (Weiteres uber die Kalksteine s. u.)

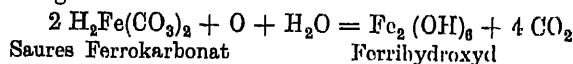
3. Des weiteren beteiligen sich an der Bodenbildung der *Magnesit* (Talkspat), ein normales *Magnesiumkarbonat* $MgCO_3$, im reinen Zustande 47,6 % Magnesia (MgO) und 52,4 % Kohlendioxyd (CO_2), meistens aber noch etwas Eisen und andere Metalle enthaltend Größere Bedeutung besitzt ein Mineral, das als ein Doppelkarbonat von Magnesium und Calcium angesehen werden kann: der *Dolomit* („Bitterkalk"), gewöhnlich zusammengesetzt nach der Formel $CaCO_3$, $MgCO_3$, sehr oft aber auch mehr Calciumkarbonat enthaltend und dann als *dolomitischer Kalk* bezeichnet. Vielfach verbreitet ist endlich ein *Ferrokarbonat*, der *Spateisenstein* oder *Eisenspat* $FeCO_3$ (bei feinkörniger bis dichter Struktur *Sphärosiderit* genannt) In gewissen, durch Mangel an *Luftsauerstoff ausgezeichneten* Böden, so in manchen Moorboden, finden sich nicht selten weiße nester- oder schichtenförmige Ablagerungen von reinem Ferrokarbonat.

§ 20.

Das chemische Verhalten der Karbonate. In reinem Wasser sind die normalen Calcium-, Magnesium- und Eisenkarbonate so gut wie unlöslich. Kohlensäurehaltiges Wasser lost dagegen auch den härtesten Kalkstein allmählich auf, indem dadurch das normale kohlensaure Salz in ein lösliches saures Karbonat übergefuhrt wird. $CaCO_3 + H_2O + CO_2 = H_2Ca(CO_3)_2$ Ein gleichzeitiger Gehalt des Wassers an gewissen Salzen, z B an Natrium- oder Magnesiumsulfat oder Magnesiumchlorid, kann die Loslichkeit noch dadurch erhöben, daß diese zum Teil mit dem Karbonat eine chemische Umsetzung erleiden, wobei das auch in reinem Wasser weit leichter losliche Calciumsulfat oder das sehr leicht lösliche Calciumchlorid entsteht: $MgSO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + MgCO_3$. (Umgekehrt aber kann aus Magnesiumkarbonat und Calciumsulfat durch Wechselzersetzung[1]) auch Calcium-

[1]) *Wechselzersetzung* Wenn Salze verschiedener Sauren und Metalle miteinander in Beruhrung kommen, so gehen sie entweder vollstandig oder teilweise

karbonat und Magnesiumsulfat entstehen, wenn Calciumsulfat gegenüber dem Magnesiumkarbonat im Überschuß vorhanden ist.) Infolge der Löslichkeit der Karbonate in kohlensäurehaltigem Wasser enthalten alle mit Kalkgesteinen in Berührung kommenden natürlichen Wässer Karbonate; da aber das saure Calciumkarbonat schon beim Stehen seiner Lösung an der Luft unter Abscheiden von Kohlendioxyd und Wasser sich zersetzt, so bilden sich aus solchen Wässern leicht Absätze von normalem Calcium- (oder Magnesium-) Karbonat. $H_2Ca(CO_3)_2 = H_2O + CO_2 + CaCO_3$. Ferrokarbonat verhält sich gegen kohlensäurehaltiges Wasser ebenso wie Calcium- und Magnesiumkarbonat und findet sich daher gleichfalls als saures Salz sehr häufig in den natürlichen Wässern („Eisenquellen"), gelöst aber nur so lange, als diese unterirdisch fließen. Sobald sie mit dem Luftsauerstoff in Berührung kommen, tritt, wahrscheinlich unter Mitwirkung von Bakterien (s. u. § 55), eine Oxydation des Eisens und eine Spaltung des Salzes unter Abscheidung von Kohlendioxyd ein, die nach der Gleichung:

$$\underset{\text{Saures Ferrokarbonat}}{2\,H_2Fe(CO_3)_2} + O + H_2O = \underset{\text{Ferrihydroxyd}}{Fe_2(OH)_6} + 4\,CO_2$$

verläuft und sich durch die Bildung eines schillernden Häutchens auf der Oberfläche und durch einen rotgefärbten Absatz von Eisenschlamm („Eisenocker") auf dem Grunde des Wassers bemerklich macht. Durch *starkes Erhitzen* werden die Karbonate zerlegt, indem Kohlendioxyd entweicht und Metalloxyd („gebrannter Kalk", „gebrannte Magnesia") zurückbleibt. Ferrokarbonat setzt sich schon bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft

in neue Salze über, *vollständig*, wenn eines der neu entstehenden Salze aus dem Bereich der chemischen Einwirkung entfernt wird, z. B. ein sich verflüchtigender oder ein von den vorhandenen Agenzien nicht mehr angreifbarer, unlöslicher Körper ist, *unvollständig*, wenn auch die neu entstandenen Salze in Lösung bleiben und daher fähig sind, sich gegenseitig und mit den ursprünglichen Salzen chemisch zu beeinflussen. Bringt man Lösungen von Natriumchlorid und Silbernitrat zusammen, so vollzieht sich eine vollständige Umsetzung nach der Gleichung: $NaCl + AgNO_3 = AgCl + NaNO_3$, weil das Silberchlorid AgCl ein unlöslicher Körper und daher der chemischen Einwirkung der vorhandenen Stoffe entzogen ist. Sind dagegen die neu entstehenden Salze löslich und daher chemischer Einwirkung unterworfen, so bleibt ein gewisser Teil der ursprünglichen Salze, dessen Größe sich nach dem Grade der chemischen Verwandtschaft und nach der vorhandenen Masse der verschiedenen Salzbestandteile richtet, unverändert. Tritt z. B. zu einer Lösung von Natriumchlorid eine solche von Calciumsulfat, so enthält die Flüssigkeit folgende vier Salze: Natriumchlorid, Natriumsulfat, Calciumchlorid, Calciumsulfat, die sich, wie man zu sagen pflegt, „im chemischen Gleichgewicht halten". Wird durch Entfernung oder durch Unlöslichwerden eines Salzes dieses Gleichgewicht gestört, so schreitet die Umsetzung so lange weiter, bis wieder Gleichgewicht herrscht. Dieses Verhalten ist, wie wir später erkennen werden, für die Bildung, die Eigenschaften und namentlich für das „Absorptionsvermögen" des Bodens von großer Bedeutung.

unter Verlust von Kohlendioxyd in Eisenoxyd oder Eisenhydroxyd um: $2\,FeCO_3 + O = Fe_2O_3 + 2\,CO_2$; $2\,FeCO_3 + O + 3\,H_2O = Fe_2(OH)_6 + 2\,CO_2$.

Selbst schwache Säuren, wie Essigsäure, Zitronensäure, Humussäuren, sind imstande, die Karbonate unter Abscheidung von Kohlendioxyd und Bildung eines Salzes der einwirkenden Säure zu zerlegen. Dabei erweist sich das Magnesiumkarbonat schwerer zersetzbar als die Calciumkarbonate [1]).

Die Wirkung, die die Karbonate, namentlich das Calciumkarbonat, auf organische Stoffe ausüben, wird später erörtert werden.

§ 21.

Die phosphorsauren Salze oder Phosphate. Die Phosphorsäure H_3PO_4 oder $PO(OH)_3$, nach früherer Anschauung P_2O_5, $3\,H_2O$ (§ 10), bildet drei Reihen von Salzen (Phosphaten).

Die in der Natur vorkommenden Phosphate sind allermeist normale Salze. Jedoch finden sich auch z B unter den im südlichen Tunis in der Nähe von Gafsa vorkommenden Phosphaten Gemenge von Mono-, Di- und Tricalciumphosphat

1 Am verbreitetsten ist das *Calciumphosphat* $Ca_3(PO_4)_2$, im reinen Zustande 45,8 % Kalk (CaO) und 54,2 % Phosphorsäureanhydrid (P_2O_5) enthaltend. Ein Doppelsalz von Calciumphosphat und Calciumchlorid (oder auch Calciumfluorid) ist der *Apatit* $3\,Ca_3(PO_4)_2 + CaCl_2$ mit einem durchschnittlichen Gehalt von 41—42 % Phosphorsäureanhydrid (P_2O_5). Der Apatit ist als Nebenbestandteil zahlreicher Mineralien in mikroskopischer Verteilung außerordentlich verbreitet und kommt auch in selbständigen Ablagerungen von beträchtlicher Ausdehnung vor. Calciumphosphat, vielleicht stets aus dem Apatit als „Urphosphat“ mittelbar oder unmittelbar hervorgegangen, bildet ferner den Hauptbetsandteil zahlreicher, den verschiedensten Schichten der Erdrinde angehöriger, aber auch, soweit sie rein mineralisch, in Eruptivgesteinen, z. B im Granit, vorkommenden Mineralien, so der, wie es scheint, rein mineralischen Phosphate von der Lahn, von Estremadura in Portugal, Südkarolina in Nordamerika, von Algier und Tunis in Nordafrika u. a., ferner die jedenfalls unter Mitwirkung tierischer Wesen entstandenen Koprolithe und Guanophosphate [2]).

[1]) Die Dolomite werden selbst von stärkeren Säuren, z B von Salzsäure, erst nach feinem Zerreiben oder bei höherer Temperatur unter Aufbrausen (Entweichen von Kohlendioxyd) zersetzt, was für die Erkennung der sogenannten dolomitischen Mergel wichtig ist.

[2]) Während an anderen Stellen der Erdoberfläche, so in Amerika, Nordafrika, den Südseeinseln, aber auch in einigen europäischen Ländern, große Phosphatlager vorkommen, sind leider in Deutschland Ablagerungen von beträchtlicherem Maße, bis jetzt nur im Westen, an der Lahn und der Dill aufgefunden worden.

Der mineralische Teil der *Knochen*, *Gräten* und *Zähne* besteht fast ausschließlich aus Calciumphosphat, außerdem ist dieses Salz in anderen tierischen Körperteilen sowie in den festen Ausscheidungen des Tierleibes in verhältnismäßig großen Mengen vertreten, und zweifellos ist ein Teil der soeben genannten Phosphatmineralien, namentlich die als „Guano" und als „Koprolithe" bezeichneten, unmittelbar aus der Verwesung von tierischen Stoffen hervorgegangen. Diesen verdanken auch die im *Korallenkalk*, im *Posidonienschiefer*, der unteren Abteilung der Juraformation, in der *Kreide* und in manchen *Mergeln* sich findenden Phosphate ihr Dasein, u. a. die „Kreidephosphate" von Ciply in Belgien. Als Nebenbestandteile finden sich meist Eisen, Aluminium, Magnesium als Oxyde, Karbonate oder Phosphate.

2. Aluminiumphosphate sind die Mineralien Wavellit und Redondit mit sehr hohem Phosphorsäuregehalt. Sehr große Verbreitung besitzen weiterhin die Eisenphosphate, und zwar als *Vivianit* (Blaueisenerde), ein wasserhaltiges Ferrophosphat von der Zusammensetzung: $Fe_3(PO_4)_2+8\,H_2O$, welches namentlich in Niederungsmoorböden und in humosen Tonböden gefunden wird, ursprünglich eine weiße Farbe hat, aber beim Liegen an der Luft infolge teilweiser Oxydation sich bläut und ferner als Ferriphosphat $Fe_2(PO_4)_2 + 4\,H_2O$ (auch die einfachere Formel $FePO_4 + 2\,H_2O$ wird verwendet) oder „basisches"[1] Ferriphosphat, z. B.: $Fe_2(PO_4)_2$, $Fe_2(OH)_6$, namentlich als Bestandteil des Sphärosiderits (Eisenspats), des Raseneisensteins u. a. (s. u.)

§ 22.

Chemisches Verhalten der natürlichen Phosphate. In reinem Wasser lösen sich die natürlich vorkommenden Phosphate nur sehr schwierig. Ein Gehalt des Wassers an gewissen Salzen, z. B. an Natriumchlorid, Natriumnitrat, erhöht die Löslichkeit, noch mehr ein Gehalt des Wassers an Kohlensäure. Übrigens verhalten sich die verschiedenen Phosphate gegenüber diesen Lösungsmitteln sehr verschieden. Manche, rein mineralischen Ursprungs, sind wegen ihrer dichten kristallinischen Beschaffenheit äußerst widerstandsfähig gegen den Angriff schwacher Säuren und gegen Verwitterung („harte" oder felsige Phosphate). Andere, meist hervorgegangen aus tierischen Körpern und oft noch Reste organischer Stoffe enthaltend, sind weit mürber („weiche" Phosphate). Zu den ersteren gehören u. a. die Apatite, die Lahnphosphorite, die Tonerdephosphate, zu den anderen die Koprolithe („Dungsteine") und die Guanophosphate. Stärkere Mineralsäuren, wie Salzsäure und Schwefelsäure, lösen alle Phosphate leicht

[1]) Die „basischen Salze" (der neueren chemischen Ausdrucksweise) kann man als Verbindungen eines normalen Salzes mit einem Hydroxyd ansehen.

auf unter Bildung von saurem Phosphat und einem Salz der verwendeten Säure, z. B.:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2\,H_2SO_4 = H_4Ca(PO_4)_2 + 2\,CaSO_4$$ [1]

Tricalcium-phosphat Schwefel-säure Monocalcium-phosphat Calcium-sulfat.

In gleicher Weise wirken freie Humussäuren, obwohl sie zu den „schwachen" Säuren gehören, auf die normalen Phosphate, insbesondere auf die weichen, ein, wenn sie in großer Menge vorhanden sind, wie das z. B. bei den sogenannten Hochmoorboden (s. u.) der Fall ist (Massenwirkung!)

§ 23.

Die schwefelsauren Salze oder Sulfate. *Chemischer Charakter und Vorkommen.* Die Schwefelsäure H_2SO_4 oder $SO_2(OH)_2$ bildet, da sie zwei durch Metalle vertretbare Wasserstoffatome enthält, normale und saure Salze. Nur die normalen Salze spielen in der Natur eine Rolle. An der Bodenbildung beteiligt sich nur das Calciumsulfat, während schwefelsaure Salze des Kaliums, Natriums und Magnesiums in natürlichen Wässern gelöst und in manchen Salzablagerungen angehäuft vorkommen. So finden sich über dem gewaltigen Steinsalzlager des Magdeburg-Harzer Beckens (Staßfurt), abgesehen von reinem Calciumsulfat, die folgenden, zweifellos aus verdunstendem Meerwasser abgeschiedenen und durch chemische Einwirkung aufeinander, allermeist in Doppelsalze und noch kompliziertere Verbindungen umgewandelten Sulfate. *Kieserit*, wasserhaltiges Magnesiumsulfat: $MgSO_4$, $2\,H_2O$; *Schönit*, ein wasserhaltiges Doppelsalz von Magnesiumsulfat und Kaliumsulfat: $MgSO_4$, $K_2SO_4 + 6\,H_2O$; *Krugit*, eine chemische Verbindung von Magnesiumsulfat, Calciumsulfat, Kaliumsulfat und Wasser: $MgSO_4$, $4\,CaSO_4$, $K_2SO_4 + 2\,H_2O$; *Polyhalit*, eine Verbindung derselben Sulfate in etwas anderen Mengenverhältnissen: $MgSO_4$, $2\,CaSO_4$, $K_2SO_4 + 2\,H_2O$, *Glauberit*, ein wasserfreies Doppelsalz von Natriumsulfat und Calciumsulfat: Na_2SO_4, $CaSO_4$ u. a. Das verbreitetste Sulfat ist das *Calciumsulfat*: $CaSO_4$, im wasserfreien Zustande als *Anhydrit*, im wasserhaltigen ($CaSO_4 + 2\,H_2O$) als *Gips* (öfters im Gemenge mit Calciumkarbonat als „Gipsmergel") auftretend. Im reinen Zustande enthält der Anhydrit 41,2 % Kalk (CaO) und 58,8 % Schwefelsäure (SO_3), der Gips 32,6 % Kalk und 46,5 % Schwefelsäure neben 20,9 % Wasser. Über Eisensulfat s. den folgenden §.

[1] Man nennt diesen Prozeß das „Aufschließen" der Phosphate und benutzt ihn, um leicht lösliche Phosphorsäuredüngemittel zu gewinnen. Das Gemenge von Monocalciumphosphat und Calciumsulfat bezeichnet man in der Düngertechnik als „Superphosphat".

auf unter Bildung von saurem Phosphat und einem Salz der verwendeten Säure, z. B :

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2\,H_2SO_4 = H_4Ca(PO_4)_2 + 2\,CaSO_4\ ^{1)}$$

Tricalcium-phosphat	Schwefel-säure	Monocalcium-phosphat	Calcium-sulfat.

In gleicher Weise wirken freie Humussauren, obwohl sie zu den „schwachen“ Säuren gehoren, auf die normalen Phosphate, insbesondere auf die weichen, ein, wenn sie in großer Menge vorhanden sind, wie das z. B. bei den sogenannten Hochmoorboden (s u.) der Fall ist (Massenwirkung!)

§ 23.

Die schwefelsauren Salze oder Sulfate. *Chemischer Charakter und Vorkommen* Die Schwefelsaure H_2SO_4 oder $SO_2(OH)_2$ bildet, da sie zwei durch Metalle vertretbare Wasserstoffatome enthalt, normale und saure Salze Nur die normalen Salze spielen in der Natur eine Rolle. An der Bodenbildung beteiligt sich nur das Calciumsulfat, wahrend schwefelsaure Salze des Kaliums, Natriums und Magnesiums in naturlichen Wassern gelöst und in manchen Salzablagerungen angehäuft vorkommen. So finden sich uber dem gewaltigen Steinsalzlager des Magdeburg-Harzer Beckens (Staßfurt), abgesehen von reinem Calciumsulfat, die folgenden, zweifellos aus verdunstendem Meerwasser abgeschiedenen und durch chemische Einwirkung aufeinander, allermeist in Doppelsalze und noch kompliziertere Verbindungen umgewandelten Sulfate. *Kieserit*, wasserhaltiges Magnesiumsulfat. $MgSO_4,\ 2\,H_2O$; *Schönit*, ein wasserhaltiges Doppelsalz von Magnesiumsulfat und Kaliumsulfat $MgSO_4,\ K_2SO_4 + 6\,H_2O$, *Krugit*, eine chemische Verbindung von Magnesiumsulfat, Calciumsulfat, Kaliumsulfat und Wasser. $MgSO_4,\ 4\,CaSO_4,\ K_2SO_4 + 2\,H_2O$; *Polyhalit*, eine Verbindung derselben Sulfate in etwas anderen Mengenverhältnissen· $MgSO_4,\ 2\,CaSO_4,\ K_2SO_4 + 2\,H_2O$, *Glauberit*, ein wasserfreies Doppelsalz von Natriumsulfat und Calciumsulfat· $Na_2SO_4,\ CaSO_4$ u a Das verbreitetste Sulfat ist das *Calciumsulfat* $CaSO_4$, im wasserfreien Zustande als *Anhydrit*, im wasserhaltigen ($CaSO_4 + 2\,H_2O$) als *Gips* (ofters im Gemenge mit Calciumkarbonat als „Gipsmergel“) auftretend. Im reinen Zustande enthalt der Anhydrit 41,2 % Kalk (CaO) und 58,8 % Schwefelsaure (SO_3), der Gips 32,6 % Kalk und 46,5 % Schwefelsäure neben 20,9 % Wasser Über Eisensulfat s den folgenden §

---

[1]) Man nennt diesen Prozeß das „Aufschließen“ der Phosphate und benutzt ihn, um leicht losliche Phosphorsauredungemittel zu gewinnen Das Gemenge von Monocalciumphosphat und Calciumsulfat bezeichnet man in der Dungertechnik als „Superphosphat“.

§ 24.

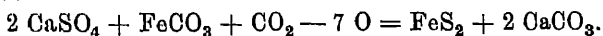
Chemisches Verhalten der Sulfate — **Reduktionsprozesse.** Während die Sulfate des Kaliums, Natriums und Magnesiums durchweg leicht löslich sind, braucht das Calciumsulfat ziemlich große Mengen von Wasser — etwa 400 Teile auf 1 Teil Gips — zu seiner Lösung, die Gegenwart von freien Säuren und von gewissen Salzen, wie Natriumchlorid, Ammoniumsalzen, befördert die Löslichkeit. Alle Sulfate sind schwer zersetzlich, die Kristallwasser enthaltenden verlieren dieses beim Glühen („Calcinieren"), der gelinde gebrannte und pulverisierte Gips nimmt es bei Zusatz von Wasser wieder auf und erhärtet damit steinartig (Verwendung des Gips zu plastischen Zwecken!); auch erleiden unter gewissen Verhältnissen die Sulfate unter dem Einfluß kohlenstoffhaltiger, pflanzlicher oder tierischer Stoffe eine eigentümliche Umwandlung, die man als *Reduktion* bezeichnet. Unter diesem Ausdruck faßt man eine große Anzahl von chemischen Vorgängen zusammen, die sämtlich auf dem Austritt von Sauerstoff aus seinen Verbindungen beruhen [1]. In Zersetzung begriffene organische, d. i. kohlenstoff- und allermeist auch wasserstoffhaltige Körper, haben das Bestreben, ihren Kohlenstoff in Kohlendioxyd, ihren Wasserstoff in Wasser umzusetzen. Geht die Zersetzung unter Abschluß oder auch nur unter mangelhaftem Zutritt der atmosphärischen Luft vor sich, so entnehmen sie den zu jener Umwandlung nötigen Sauerstoff sauerstoffhaltigen Verbindungen ihrer Umgebung und führen dadurch eine „Reduktion" der letzteren herbei. Befindet sich z. B. Calciumsulfat unter den erwähnten Bedingungen in Berührung mit verwesenden Pflanzenresten, so wird es durch Entziehung eines Sauerstoffgehaltes zu *Schwefelcalcium* oder *Calciumsulfid* reduziert: $CaSO_4 - 4\,O = CaS$. Die Sulfide erleiden schon in Berührung mit schwachen Säuren, z. B. mit Kohlensäure, eine weitere Umwandlung, deren Endprodukte Schwefelwasserstoff, jenes bekannte giftige, den Geruch faulender Eier besitzende Gas, und ein Karbonat sind, z. B.: $CaS + H_2O + CO_2 = CaCO_3 + H_2S$.

Calcium-karbonat Schwefel-wasserstoff

Da bei der Zersetzung pflanzlicher oder tierischer Stoffe regelmäßig Kohlendioxyd bzw. Kohlensäure entsteht, so ist die Reduktion der Sulfate in der Natur fast stets mit dem Auftreten von Schwefelwasserstoff verbunden. Sind

[1]) Der großartigste Reduktionsvorgang vollzieht sich in den grünen Pflanzenteilen. Unter dem Einfluß des Lichts und der Chlorophyllkörner in den Zellen der grünen Pflanzenteile spaltet sich das von den Blättern eingeatmete Kohlendioxyd in Kohlenstoff und Sauerstoff, das von den Wurzeln aufgenommene Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Und aus diesen Elementen formen sich, oft unter Mitwirkung von Stickstoff, Schwefel, Phosphor, die mannigfaltigen organischen Bestandteile des Pflanzenleibes.

neben den verwesenden Stoffen und Sulfaten noch Eisenverbindungen zugegen, so kann sich anstatt des Schwefelwasserstoffs Schwefeleisen bilden, ein Vorgang, der sich durch folgende chemische Gleichung ausdrücken läßt:

$$2\,CaSO_4 + FeCO_3 + CO_2 - 7\,O = \underset{\text{Zweifach-Schwefeleisen}}{FeS_2} + 2\,CaCO_3.$$

Von dieser Verbindung, die man auch *Schwefelkies* oder *Eisenkies* nennt, wird gleich noch die Rede sein. In Berührung mit anderen Salzen führen die Sulfate chemische Umsetzungen herbei, die für die Pflanzenernährung von hohem Wert sein können. Z. B. kann durch Einwirkung von Calciumsulfat auf das leicht flüchtige Ammoniumkarbonat das nicht flüchtige Ammoniumsulfat neben Calciumkarbonat entstehen: $CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3$ $(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3$. (Andere Einwirkungen s. § 18.) Auf schwer lösliche Kaliumsilikate kann Calciumsulfat in der Weise einwirken, daß leicht lösliches Kaliumsulfat entsteht und das Calcium an die Stelle des Kaliums im Silikat tritt.

§ 25.

Die Schwefelverbindungen oder Sulfide. *Chemischer Charakter und Verhalten.* Der Schwefel verbindet sich in verschiedenen Mengenverhältnissen mit Wasserstoff und mit zahlreichen Metallen. Eine der bekanntesten Verbindungen ist das Wasserstoffsulfid H_2S, auch Schwefelwasserstoff genannt, ein brennbares, in Wasser ziemlich leicht lösliches, unangenehm (nach faulenden Eiern) riechendes, sehr giftiges Gas, das namentlich bei der Fäulnis schwefelhaltiger organischer Stoffe sich entwickelt (s. auch § 24). Unter dem Einfluß gewisser Bakterien (s. u.) kann sich daraus freier Schwefel abscheiden. Von den Metall-Schwefel-Verbindungen besitzt für den Boden eine größere Bedeutung nur das *Eisenbisulfid* FeS_2, auch „Zweifachschwefeleisen" genannt. Es findet sich in der Natur als das Mineral *Pyrit* oder „Eisenkies" (auch „Schwefelkies") oder in anderer Kristallform als *Markasit* oder „Strahlkies". Über seine Entstehung ist unmittelbar vorher gesprochen worden. In Berührung mit feuchter Luft geht das Eisenbisulfid unter Aufnahme von Sauerstoff und Wasser in Ferrosulfat und freie Schwefelsäure über: $FeS_2 + H_2O + 7\,O = FeSO_4 + H_2SO_4$[1]). Das Ferrosulfat, in Verbindung mit 7 Molekülen Kristallwasser auch „Eisenvitriol" genannt, geht durch weitere Aufnahme von Sauerstoff bei Anwesenheit von freier Schwefelsäure in Ferrisulfat über: $2\,FeSO_4 + H_2SO_4 + O = Fe_2(SO_4)_3 + H_2O$. Kommen diese Oxydationserzeugnisse des Schwefeleisens mit Kalk (CaO) oder Calciumkarbonat

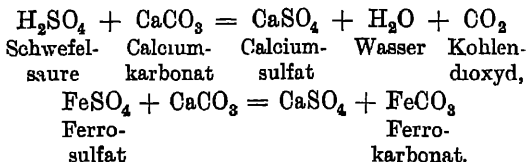
[1]) Diese Umsetzung erfolgt besonders leicht beim Markasit, weit langsamer beim Pyrit.

($CaCO_3$) zusammen, so finden weitere Umsetzungen statt, deren Endprodukte Calciumsulfat und Eisenoxyd sind:

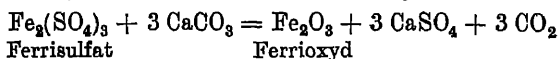
$$H_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + H_2O + CO_2$$

Schwefelsäure — Calciumkarbonat — Calciumsulfat — Wasser — Kohlendioxyd,

$$FeSO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + FeCO_3$$

Ferrosulfat — Ferrokarbonat.

Das Ferrokarbonat setzt sich an der Luft sehr bald in Kohlendioxyd und Ferrioxyd (s. S. 44) und das Ferrisulfat in Ferrioxyd und Calciumsulfat um.

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3\,CaCO_3 = Fe_2O_3 + 3\,CaSO_4 + 3\,CO_2$$

Ferrisulfat — Ferrioxyd

Da sowohl die freie Schwefelsäure wie die Eisensulfate heftige Pflanzengifte sind, so ist das soeben beschriebene Verhalten für die landwirtschaftliche Benutzung eisensulfidhaltigen Bodens wichtig.

§ 26.

Oxyde und Hydroxyde. In Betracht kommen hier nur die entsprechenden Verbindungen des Eisens und des Aluminiums. (Über ihre chemische Konstitution s. § 10.) Als eine chemische Verbindung von Ferrooxyd (FeO) und Ferrioxyd (Fe_2O_3) läßt sich ein weit verbreitetes Mineral, das *Magneteisen*: Fe_3O_4 ($= FeO + Fe_2O_3$) = Ferroferrihydroxyd ansehen (S. 23). Durch Aufnahme von Sauerstoff geht es in Eisenoxyd, bei gleichzeitiger Gegenwart von Wasser auch in Eisenhydroxyd über.

Bereits früher (S. 44) ist die Abscheidung von Ferrihydroxyd aus Wässern besprochen worden, die saures Ferrokarbonat enthalten. Derartige, gewöhnlich nesterartig auftretende Absätze, die meist noch Calciumkarbonat, Tonmineralien und andere Silikate, außerdem etwas Ferrioxyd enthalten, bezeichnet man als *Ocker-* oder *Eisenocker*. Ähnlichen Ursachen und vielleicht auch der Lebenstätigkeit von Bakterien (s. u.) verdankten zahlreiche Eisenhydroxyd-Ablagerungen ihre Entstehung, die man unter dem Namen *Limonit*, „Raseneisenstein", „Wiesenerz", „Sumpferz" zusammenfaßt. Sie kommen als vereinzelte oder zu Knollen verwachsene etwa erbsengroße Körner im Boden dicht unter der Oberfläche verteilt vor, bilden bisweilen aber auch feste Bänke von großer Ausdehnung. Neben ihrem Hauptbestandteil enthalten sie nicht selten recht beträchtliche Mengen von Eisenphosphat, Eisensilikat, Sand, Tonmineralien und organischen Stoffen pflanzlichen Ursprungs.

Das Aluminiumhydroxyd („Tonerdehydrat") $Al_2O_6H_6$ scheint hauptsächlich aus der Zersetzung der Feldspate hervorzugehen. Es findet sich ebenso wie das Eisenhydroxyd fein zerteilt im Boden, tritt aber auch in zusammenhängenden Stücken z. B. in Verbindung mit Eisenhydroxyd

als das Mineral Bauxit auf. Es zeigt ein im übrigen sehr ähnliches Verhalten wie das gleich zusammengesetzte Eisenhydroxyd, wird aber nicht wie dieses durch Kohlensäure in ein Karbonat übergeführt.

Die für die Bodenvorgänge wichtigen kolloidalen Eigenschaften beider Hydroxyde werden später besprochen werden

Im Anschluß an die bisher besprochenen Mineralien, die man mit wenigen Ausnahmen zu den bodenbildenden rechnen darf, soll noch einiger Mineralgruppen Erwähnung geschehen, die zwar nicht zu den eigentlichen Bodenbildnern zu rechnen sind, denen aber bei den innerhalb des Bodens sich abspielenden Vorgängen eine große Bedeutung zukommt, das sind die Chloride, die Nitrate und die Ammonverbindungen.

§ 27.

Die Chlorverbindungen oder Chloride. Das Element Chlor (Cl) vereinigt sich unmittelbar mit Metallen zu Verbindungen, die man auch als Salze der Chlorwasserstoffsäure HCl (gewöhnlich „Salzsäure" genannt) ansehen kann. Die größte Verbreitung hat von den Chlorverbindungen das Chlornatrium oder Natriumchlorid NaCl mit 39,3 % Natrium und 60,7 % Chlor, unter dem Namen *Steinsalz* oder Kochsalz teils in mächtigen Lagern, teils in feiner Verteilung in allen Böden, teils aufgelöst in großen Mengen im Meereswasser, in geringeren wohl in allen natürlichen Gewässern vorkommend. Außer Chlornatrium enthalten die letzteren noch andere Chloride, so namentlich *Kaliumchlorid, Magnesiumchlorid, Calciumchlorid.* Über dem Staßfurter Steinsalzlager finden sich neben Sulfaten (§ 23) auch Chloride, wie jene oftmals zu Doppelsalzen verbunden. Die wichtigsten sind die folgenden:

Sylvin, reines Kaliumchlorid. KCl mit 52,5 % Kalium (entsprechend 63,2 % Kali: K_2O) und 47,5 % Chlor. Ein Gemenge von Sylvin und Kochsalz, worin letzteres überwiegt, heißt *Sylvinit,* ein Gemenge von Sylvin, Kochsalz und Kieserit (§ 23) wegen der großen Härte des Kieserits „Hartsalz".

Kainit, ein wasserhaltiges Doppelsalz von Kaliumchlorid und Magnesiumsulfat: KCl, $MgSO_4 + 3\,H_2O$ [1]).

Carnallit, ein wasserhaltiges Doppelsalz von Kaliumchlorid und Magnesiumchlorid. KCl, $MgCl_2 + 6\,H_2O$ mit 26,9 % Kaliumchlorid [2]), 34,2 % Magnesiumchlorid und 38,9 % Wasser.

[1]) Nach dieser Formel berechnet sich ein Gehalt von etwa 23 % Kali (K_2O). Da aber das bergmännisch gewonnene Salz starke Beimengungen von Nebensalzen, insbesondere von Kochsalz (NaCl), enthält, so stellt sich der gewährleistete Gehalt der Handelsware nur auf 12,5 % Kali.

[2]) Gehalt der Handelsware nur etwa 9 % Kali

§ 28.

Das chemische Verhalten der Chloride. Sämtliche Chloride sind in Wasser leicht löslich. Einige von ihnen, wie das Calciumchlorid, Magnesiumchlorid, sind sehr *hygroskopisch* (d. h. Wasser in flussigem und dampfförmigem Zustande wird von ihnen mit großer Begier angezogen und festgehalten)[1]. In Berührung mit anderen Salzen erleiden sie zahlreiche Wechselzersetzungen, und hierauf ist es jedenfalls zurückzuführen, wenn manche Chlorverbindungen lösend auf schwerlösliche Stoffe einwirken. Unter der Einwirkung von Kochsalz auf Kaliumsilikat tritt Natrium aus dem Kochsalz an Stelle eines Teils des Silikatkaliums, während dieses als Kaliumchlorid in Lösung geht; Calciumphosphat wird durch Kaliumchlorid oder Natriumchlorid zum Teil in der Weise zerlegt, daß neben Calciumchlorid leicht lösliches Kalium- oder Natriumphosphat entsteht. Nicht anders ist die Wirkung dieser Chloride auf Calciumkarbonat: $CaCO_3 + 2\,NaCl = CaCl_2 + Na_2CO_3$ usw. Es ist aber hervorzuheben, daß alle diese Wechselzersetzungen nur sehr langsam und nie bis zur vollen Umsetzung zu erfolgen pflegen (S. 43, Anmerkung). Die mechanische Wirkung, die die Chloride auf Tonmineralien ausüben, ist früher (S. 41) angedeutet worden.

§ 29.

Die salpetersauren Salze oder Nitrate. Die Salpetersäure HNO_3 oder $NO_2 \cdot OH$ bildet nur eine Reihe von Salzen (Nitrate). Von den bekannten Nitraten findet sich das *Natriumnitrat* $NaNO_3$ („Natronsalpeter") in einer in den regenlosen Landstrichen von Chile und Peru zwischen dem 18. und 27. ° südl. Breite in großen Lagern vorkommenden, aus einem wechselnden Gemenge von Natriumnitrat, Natriumsulfat, Chlornatrium, Magnesiumsulfat, Calciumsulfat, sehr kleinen Mengen von Jodnatrium und dem pflanzenschädlichen Kalium- oder Natriumperchlorat mit kalk- und eisenoxydhaltigem Sande bestehenden Bodenart, der „Caliche". die wahrscheinlich aus der Verwesung gewaltiger Tangmassen unter Mitwirkung der Meersalze hervorgegangen ist. Neben ihrem Hauptbestandteil enthalt die in Schichten von 0,2—5 m Mächtigkeit auftretende Caliche alle Meersalze und organische Substanzen. Das von diesen Beimengungen möglichst befreite Material kommt unter dem Namen *Chilisalpeter* in den

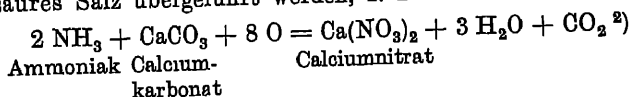
[1] Selbst ein geringer Gehalt der als Dungemittel verwendeten Kalisalze (Kainit, Carnallit) an diesen hygroskopischen Chloriden führt ein Feuchtwerden derselben bei längerem Lagern herbei. Das aus der Luft aufgenommene Wasser geht dann unter steinartiger Erhartung der gemahlenen Düngesalze mit anderen Bestandteilen derselben chemische Verbindungen ein. Diesem unliebsamen Verhalten wird nach einem von M. Fleischer angegebenen Verfahren durch Beimengung geringer Mengen von trocknem Torfmull (2,5 auf 100 Teile) wirksam entgegengearbeitet („Torfkainit", Torfcarnallit").

Handel. Auch *Kaliumnitrat* (Kalisalpeter), ferner *Calciumnitrat* und *Magnesiumnitrat* finden sich stellenweise als Gesteinsausschwitzungen in Ostindien. Außerdem sind kleine Mengen von Nitraten in der Luft und in den allermeisten Böden und natürlichen Wässern enthalten.

§ 30.

Entstehung der Nitrate In der atmosphärischen Luft bilden sich bei jedem Blitzschlag durch direkte Vereinigung von Stickstoff, Sauerstoff und den Elementen des Wassers kleine Mengen von Salpetersäure [1]), die mit dem gleichfalls in der Luft vorhandenen (aus der Zersetzung tierischer und pflanzlicher Stoffe stammenden) Ammoniak zu Ammoniumnitrat sich vereinigen. $HNO_3 + NH_3 = NH_4NO_3$. Durch die atmosphärischen Niederschläge wird das Salz dem Boden und den Gewässern zugeführt. Eine stärker fließende natürliche Quelle der für die Pflanzenernährung besonders wichtigen Nitrate bietet die Zersetzung stickstoffhaltiger pflanzlicher und tierischer Stoffe Diese enthalten Stickstoff in organischer Verbindung, d h an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff gebunden. Bei dem Zerfall, dem der pflanzliche und tierische Körper nach seinem Absterben unterliegt, wird der Stickstoff zum Teil als freier Stickstoff ausgeschieden, zum Teil in Ammoniak (NH_3) oder in Salpetersäure (HNO_3) umgewandelt. Nach dem jetzigen Stand unseres Wissens muß man annehmen, daß jene Zersetzungsvorgänge, die man auch als *Fäulnis* und *Verwesung* bezeichnet, durch kleinste Lebewesen (Mikroorganismen), und zwar durch Bakterien oder Spaltpilze hervorgerufen werden Je nachdem die natürlichen Bedingungen der Entwicklung dieser oder jener Bakterienart besonders günstig sind, tritt höchstwahrscheinlich der Stickstoff vorwiegend oder ganz in dieser oder jener Form aus. Das Vorhandensein von Luftsauerstoff und von Karbonaten des Kaliums, Natriums, Calciums oder Magnesiums befördert die Entstehung von Nitraten, auch das bei Luftabschluß oder mangelhaftem Luftzutritt vornehmlich sich bildende Ammoniak kann unter diesen Bedingungen oxydiert und schließlich in salpetersaures Salz übergeführt werden, z. B.:

$$\underset{\text{Ammoniak}}{2\,NH_3} + \underset{\text{Calcium-karbonat}}{CaCO_3} + 8\,O = \underset{\text{Calciumnitrat}}{Ca(NO_3)_2} + 3\,H_2O + CO_2$$ [2])

---

[1]) In neuerer Zeit wird dieser Vorgang in Norwegen zur Gewinnung eines wertvollen Stickstoffdüngers künstlich hervorgerufen. Prof. Birkeland ist es gelungen, mit Hilfe des sogenannten elektromagnetischen Gebläses Salpetersäure aus dem Luftsauerstoff und Stickstoff in so großen Mengen zu erzeugen, daß sie zur Herstellung eines dem Chilisalpeter gleichwertigen Düngemittels, des Calciumnitrates, Verwendung finden kann.

[2]) In den sogenannten *Salpeterplantagen* wird dieser Vorgang zur Salpetererzeugung benutzt, indem man stickstoffhaltige Abfälle tierischer und pflanz-

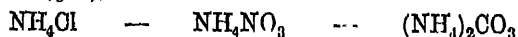
§ 31.

Das chemische Verhalten der Nitrate. Sämtliche Nitrate sind in Wasser leicht löslich. Auf andere Salze üben sie ähnliche Wirkungen aus wie die Chloride (s. o.) und sind daher wie diese imstande, schwer lösliche Stoffe, wenn auch immer nur in geringem Maße, in Lösung zu bringen. Unter dem Einfluß gewisser Bakterien, die auf die Nitrate sauerstoffentziehend („reduzierend") wirken, kann die Salpetersäure der Nitrate unter Abscheidung freien Stickstoffs zersetzt werden: $2\,HNO_3 - 5\,O = H_2O + 2\,N$ [1]).

§ 32.

Die Ammoniumverbindungen. Bei dem Vorgang der Verwesung und Fäulnis stickstoffhaltiger pflanzlicher und tierischer Stoffe wandelt sich ein Teil ihres Stickstoffs in Ammoniak (NH_3) um. Desgleichen bildet sich Ammoniak bei der „trockenen Destillation", der Erhitzung stickstoffhaltiger organischer Stoffe in geschlossenen Gefäßen, wie sie z. B. bei der Leuchtgaserzeugung stattfindet. Das bei diesen Vorgängen freiwerdende Ammoniak gelangt in die Luft und in den Boden. Es verbindet sich leicht mit Säuren zu Salzen. So entstehen bei der Verbindung mit Chlorwasserstoff, Salpetersäure, Kohlensäure Salze von der Zusammensetzung:

$$NH_3,\ HCl \;—\; NH_3,\ HNO_3 \;—\; (NH_3)_2H_2CO_3.$$

In allen diesen Verbindungen kann man das Vorhandensein eines Radikals NH_4 annehmen (§ 9), und man kann ihnen also die Formel geben:

NH_4Cl	—	NH_4NO_3	—	$(NH_4)_2CO_3$
Ammoniumchlorid („Salmiak") [2])		Ammoniumnitrat		Ammoniumkarbonat [3])

Diese Salze verhalten sich ganz ähnlich wie die entsprechenden Kalium- und Natriumverbindungen. Für den Boden sind sie sehr wichtig, weil sie entweder unmittelbar oder nach dem in gut durchlüfteten Böden leicht erfolgenden Übergang des Ammoniaks in Salpetersäure die Kulturpflanzen mit dem nötigen Stickstoff versorgen [4]).

---

licher Natur mit den oben genannten kohlensauren Salzen vermischt und durch häufiges Umstechen der Haufen dem Luftsauerstoff Zutritt verschafft.

[1]) Über die Mitwirkung von kleinsten Lebewesen bei der Entstehung und Zersetzung der Nitrate s. u. § 55 (Bodenbakteriologie).

[2]) Von: „Sal ammoniacum"

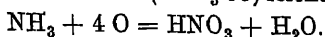
[3]) Als Stickstoffdüngemittel findet hauptsächlich das Ammoniumsulfat („schwefelsaures Ammoniak") Verwendung. Früher wurde es als Nebenprodukt bei der Leuchtgasfabrikation und bei der Verkokung von Steinkohlen, Braunkohlen und Torf gewonnen, jetzt wird ein großer Teil nach dem Haber-Bosch-schen Verfahren künstlich hergestellt (s. die folgende Anmerkung).

[4]) Die Mengen von Stickstoff, welche durch die oben berührten Vorgänge in den Boden gelangen, reichen auch im Verein mit dem aus der Luft in den Boden gelangenden und dem im Boden selbst gebildeten Salpeterstickstoff (§ 20)

§ 33.

Das chemische Verhalten der Ammoniumverbindungen. Alle für uns in Frage kommenden Ammoniumsalze sind in Wasser leicht löslich Sie bieten also der Pflanzenwurzel kein mechanisches Hindernis zu ihrer Aufnahme In der Pflanzenzelle selbst aber können sie insofern eine Zersetzung erleiden, als gewisse Bestandteile des eingedrungenen Salzes zurückbehalten und zur Ernährung der Pflanze verwandt werden, während andere wieder ausgeschieden werden, so daß z B. der basische Bestandteil, das Ammoniak, zurückbleibt. die freigewordene Säure wieder austritt („Wahlvermögen der Pflanzenzelle"). S darüber auch § 34

In gut durchlüftetem Boden wandelt sich das Ammoniak, wahrscheinlich unter dem Einfluß gewisser Mikroben (s u § 55) leicht in Salpetersäure um:

$$NH_3 + 4\,O = HNO_3 + H_2O.$$

Die Frage, ob die Ammonverbindungen unmittelbar zur Ernährung der Pflanzen verwendet werden oder erst in salpetersaure Salze umgewandelt werden müssen, ist noch nicht ganz geklärt. Für die letztere Annahme könnte die Tatsache sprechen, daß allermeist eine Düngung mit Salpeter schneller wirkt als die mit Ammonsalzen.

§ 34.

Physiologisch saure und physiologisch alkalische Salze. Die oben besprochenen Chloride, Nitrate und — mit Ausnahme des roten Lackmusfarbstoff bläuenden Ammonkarbonates — zeigen neutrale Reaktion Dennoch können sie im Boden oder in Berührung mit lebenden Pflanzen Wirkungen ausüben, die sonst nur den Säuren oder den Basen eigen sind.

Wie später eingehend besprochen werden wird, hält der Boden gewisse, ihm zugeführte Stoffe fest („Absorptionsvermögen"), so daß andere, ursprünglich chemisch mit ihnen verbundene in Freiheit gesetzt werden. So wird z. B aus Ammoniumsulfat das Ammoniak festgehalten, die Schwefelsäure in Freiheit gesetzt, so wird aus Natriumphosphat die Phosphorsäure festgelegt, das Natron freigemacht Je nachdem der

---

nicht entfernt aus, um unsere Ernten auf die nötige Höhe zu bringen. Von großer Bedeutung ist es daher, insbesondere bei dem drohenden Abbau der Chilisalpeterlager, daß es in neuerer Zeit hauptsächlich deutscher Wissenschaft und Technik gelungen ist, Verbindungen des „trägen" Stickstoffs (S 17) mit anderen Elementen künstlich zu erzeugen, die zur Ernährung der Pflanzen dienen können Zuerst glückte die künstliche Herstellung des „Norwegischen Salpeters" (S 53). Weit größere Bedeutung aber beansprucht die Gewinnung von Ammoniak durch unmittelbare Verbindung von Stickstoff mit Ammoniak nach dem von F Haber ersonnenen und von dem leitenden Chemiker der Badischen Anilin- und Sodafabrik Dr Bosch in die Technik eingeführten höchst sinnreichen Verfahren.

basische oder der saure Bestandteil des Salzes festgelegt wird, übt der zurückbleibende seine saure oder basische Wirkung aus.

Auch im Pflanzenkörper kann, wie in § 33 ausgeführt wurde, eine Spaltung der Salze erfolgen, indem die für die Pflanze besonders wertvollen Bestandteile in weit stärkerem Maße festgehalten werden, als die bedeutungsloseren, die zum größeren Teil wieder zur Ausscheidung gelangen und je nachdem auf ihre Umgebung sauer oder basisch einwirken [1]) Bei Wasserkulturversuchen hat man häufig festgestellt, daß unter dem Einfluß des Pflanzenwachstums die ursprünglich neutralen Nährstofflösungen allmählich eine saure oder alkalische Reaktion annehmen Man trägt diesen Erscheinungen Rechnung, wenn man von „physiologisch sauren" und von „physiologisch-alkalischen" Salzen spricht.

B. Die bodenbildenden Gesteine.

§ 35.

Einteilung. Die im vorstehenden besprochenen Mineralien bilden zum größeren Teil die Gesteine oder Gemengteile der Gesteine, aus deren Umwandlung schließlich der Boden hervorgeht. Je nachdem an der Zusammensetzung eines Gesteins nur ein Mineral oder mehrere Mineralien sich beteiligen, nennt man es *„einfach"* (z. B Kalkstein, Quarzit u. a.) oder *„gemengt"* (z. B. Granit, Porphyr, Basalt u. a.)

Eine andere Einteilung stützt sich auf die Entstehungsweise der verschiedenen Gesteine („Gebirgsarten", „Felsarten"). Hiernach unterscheidet man zwischen

plutonischen Bildungen		(Urgesteine)
neptunischen	„	(Abkömmlinge der Urgesteine)
glazialen	„	
äolischen	„	

Wie in der Einleitung kurz dargelegt wurde, bildete in einer gewissen Periode der Entwicklung unseres Planeten eine aus dem feurigflüssigen Zustande hervorgegangene Gesteinsmasse die feste Erdrinde Die an ihrer Zusammensetzung beteiligten Gesteine bezeichnet man entsprechend ihrer Herkunft als *plutonische* Zu den plutonischen Gebilden gehören natürlich auch die aus dem Erdkern stammenden Gesteinsmassen, welche durch die Erstarrungskruste und die sie überlagernden Gesteinsmassen (s. die Einleitung) in glutflüssigem Zustande hindurchbrachen Man nennt

[1]) Die bisherigen Versuche lassen es noch unentschieden, ob die Spaltung erst innerhalb der Pflanzenzelle oder schon in der unmittelbaren Umgebung der Wurzeln, der „Rhizosphäre", vor sich geht (S darüber D. Trianischnikow, Biedermanns Zentralblatt, Bd. 34, 1905, S. 375.)

sie *Eruptivgesteine*, und zwar *vulkanische* Eruptivgesteine, falls sie die Erdoberfläche erreichten und hier als Strome oder als Decke sich ausbreiteten (z B. Porphyr, Melaphyr u a.), *plutonische* Eruptivgesteine, soweit sie nicht bis an die Oberflache gelangten, sondern bereits in Spalten Kanälen und anderen Hohlraumen der Erdrinde zu festen Massen erstarrten, z B. Granit [1])

Die nicht eruptiv gewordenen Gesteine der Erstarrungskruste bestehen zwar aus den gleichen gesteinsbildenden Mineralien wie die Eruptivgesteine, sie nahmen aber bisweilen — im Gegensatz zu dem allermeist massigen Gefuge der letzteren — infolge von Druckwirkungen und Faltenbildung wahrend des Erstarrungsvorganges eine mehr schiefrige Struktur an. Im folgenden werden alle aus dem glutflüssigen in den festen Zustand übergegangenen Gesteine, also sowohl die Gesteine der ersten Erstarrungskruste wie die plutonischen und die vulkanischen Eruptivgesteine, unter der Bezeichnung „plutonische Bildungen" zusammengefaßt. Wegen ihres Auftretens in nicht geschichteten, vielmehr in zusammenhängenden Massen bezeichnet man sie auch als *Massengesteine*.

Die *neptunischen*, Floz- oder Sedimentarbildungen, sowie die *glazialen* und die *äolischen* Gesteine sind als Abkommlinge der plutonischen anzusehen. Die *Sedimentargesteine* schieden sich als Absätze („Sedimente") aus dem die Erdoberflache bedeckenden Wasser ab, welches Bestandteile zerstörter älterer Gesteine teils chemisch gelöst, teils mechanisch schwebend mitfuhrte

Glaziale Gesteine sind Bruchstucke alterer Gebirgsarten, die durch die Bewegung von Gletschern und Gletscherschmelzwassern von ihrem Ursprungsort fortgetrieben und nach vielfachen chemischen und mechanischen Umwandlungen zum Absatz gekommen sind (§ 38).

Äolische Gebilde sind Ablagerungen sand- und staubartiger Gesteinsreste, die durch die Tätigkeit des Windes transportiert worden sind (§ 38). Alle diese Sedimentbildungen gehoren den „klastischen" Gesteinen an (S. 4).

§ 36.

Die plutonischen Gesteine, haufig als *Urgesteine*, auch als „Massengesteine" bezeichnet, bestehen stets aus verschiedenen kristallinischen, untereinander verwachsenen Mineralien, unter denen die Kieselerdemineralien und Silikate die erste Stelle einnehmen Je nachdem die Gemengteile staubfein oder in groberen Kornern oder Kristallen oder in

[1]) Auch die plutonischen Eruptivgesteine, z. B Granit, Syenit u. a, liegen jetzt überall zutage, wo die ursprunglich sie bedeckenden Gesteinsschichten durch spater zu schildernde Naturvorgange „abgetragen" worden sind.

parallel übereinander gelagerten Blättchen oder Schuppen auftreten, bezeichnet man das Gefüge (die „Struktur") des Gesteins als „dicht", „körnig" oder „schiefrig". Vom chemischen Standpunkt aus hat man die Eruptivgesteine nach ihrem größeren oder geringeren Gehalt an Kieselsäure in *saure, neutrale* und *basische* eingeteilt, von denen die „sauren" 65 % Kieselsäure und mehr, die neutralen 55—64 %, die basischen 40—54 % enthalten. Wenn auch diese Scheidung der Kritik im einzelnen nicht völlig standhält, indem besonders die „neutralen" Gesteine nach den sauren wie nach den basischen hin bezüglich ihres Kieselsäuregehaltes sich nicht scharf genug abgrenzen lassen, so soll sie zur Erleichterung der Übersicht hier noch festgehalten werden.

1. Zu den *sauren Gesteinen* rechnet man die folgenden: *Granit* (*Gneis, Glimmerschiefer* [1]), *Porphyr*.

Granit und *Gneis* enthalten als Hauptbestandteile die Mineralien Quarz, Glimmer (Kali- oder Magnesiaglimmer) und Kalifeldspat (Orthoklas). Der Granit, ein grob-, mittel- oder feinkörniges Gestein von weißgrauer, schwarz-weißer oder rötlicher Färbung, pflegt etwas reicher an Kalifeldspat zu sein als der Gneis (60—80 % gegen 50—70 %), auch ist im Gneis der Orthoklas bisweilen durch Plagioklas ersetzt. Als Nebenbestandteile finden sich in beiden Gesteinen Zeolithe, Turmalin, Granat, Hornblende, Apatit u. a. Das Gefüge des Granits ist körnig, das des Gneis schiefrig (s. o.).

Glimmerschiefer ist ein ausgeprägt dünnschiefriges Gemenge von Quarz und glänzendem Glimmer (Kali- oder Magnesiaglimmer). Feldspat enthält er höchstens in sehr geringen Mengen. Andere Nebenbestandteile sind: Hornblende, Granat, Turmalin, Schwefelkies, Apatit u. a.

Porphyr. In eine dichte, aus Orthoklas und Quarz bestehende Grundmasse („Felsit") sind Körner oder Kristalle von Quarz („Quarzporphyr") und Orthoklas („Feldspatporphyr") (als Nebenbestandteile bisweilen Plagioklase, Glimmer, Hornblende, Augit, Apatit u. a.) eingesprengt. Farbe meist braunrot, aber auch weiß, gelb, grün. Porphyr ist als flüssige Masse bis an die Oberfläche gelangt und hat sich hier über das unterlagernde Gestein ergossen. Es zeigt häufig „Fluidal"struktur, wenn die geschmolzene Masse erstarrte, während sie noch im Fließen war.

2. Die *neutralen Gesteine*: *Syenit, Trachyt, Phonolith, Quarzdiorit* u. a.

Syenit ist ein braunrotes Gemenge von Hornblende und Orthoklas. Letzterer ist bisweilen durch Plagioklas ersetzt. An Nebenbestandteilen finden sich bisweilen Magnesiaglimmer, Olivin, Granat, Schwefelkies und fast immer Apatit.

[1]) Gneis und Glimmerschiefer sind, obwohl sie nicht zu den plutonischen oder Urgesteinen gerechnet werden, hier mit aufgeführt, weil sie nach chemischer Zusammensetzung und ihrem Verhalten dem Urgestein Granit sehr nahe stehen.

Trachyt, meist hellgrau gefärbt, besteht aus einer feinkörnigen, etwas porösen Grundmasse von Sanidin und Plagioklas, in der Kristalle von Sanidin, als Nebenbestandteile außerdem Leucit, Granat, Cordierit, Augit, Hornblende und fast immer Apatit verteilt sind. Viele Trachyte („Quarztrachyte") enthalten außerdem als regelmäßigen Bestandteil noch Quarz Kennzeichnend für den Trachyt sind die eingeschlossenen tafel- und säulenformigen glasigen und oft zu beträchtlicher Große ausgewachsenen Sanidinkristalle, die die Festigkeit des Gesteins sehr schwächen

Phonolith (Klingstein). In einer aus Sanidin, Nephelin, Augit und anderen Mineralien bestehenden dunkelgrauen Grundmasse sind zahlreiche Sanidin- Nephelin-, Augit-, Hornblendekristalle und Magneteisensteinkörner eingebettet.

Quarzdiorit besteht aus Hornblende, Quarz und Plagioklas (Oligoklas, Labrador, Anorthit) und enthält als Nebenbestandteile nicht selten Augit. Orthoklas, Magnesiaglimmer, Eisen, Granat, Cordierit, Apatit.

3. Die *basischen Gesteine* Während die sauren und zum Teil auch die neutralen Gesteine im wesentlichen als verschieden zusammengesetzte Gemenge von Quarz, Glimmer und Feldspat anzusehen sind, von denen allerdings Feldspat oder Quarz bei einigen Felsarten sehr zuruckbleibt, fehlt bei den basischen Gesteinen der Quarz als Hauptbestandteil Sie enthalten durchweg Hornblende oder Augit und Feldspate (meist Plagioklase) In diese Gruppe gehören folgende Gesteine · *Diorit, Gabbro, Diabas, Melaphyr, Basalt, Dolerit.*

Diorit unterscheidet sich vom Quarzdiorit (s o.) durch das Fehlen von Quarz.

Gabbro, ein granitisch grobkörniges Aggregat von Plagioklas (meist Labrador oder Anorthit) und Diallag, häufig gemengt mit Olivin Andere zufällige Bestandteile sind Biotit, Hornblende, Granat, Serpentin, Talk, Apatit, Pyrit, Magnetkies, Magneteisen.

Die folgenden Gesteine enthalten stets Augit und sind dadurch sowie durch die fast stets vorhandenen Eisenverbindungen schwarz oder grunschwarz gefärbt.

Diabas enthält als Hauptbestandteil Hornblende und Plagioklas, dabei stets Apatit, als Nebenbestandteile nicht selten Orthoklas, Eisenkies, Olivin, Magnesiaglimmer (In Hohlräumen finden sich bisweilen Kristalle von Kalkspat, Zeolithen und Quarz eingeschlossen. Man nennt solche Gebilde „Drusen")

Melaphyr, ein Gemenge von Augit, Plagioklas (namentlich Labrador), Olivin, Magneteisen, außerdem enthalt das Gestein stets Apatit und bisweilen Magnesiaglimmer, Orthoklas und Quarz.

Basalt bildet ein inniges, dicht erscheinendes Gemenge von Augit mit Plagioklas (meist Oligoklas) oder Nephelin oder Leucit Als Nebenbestand-

teile finden sich Magneteisen, Olivin, meist unbeträchtliche Mengen Apatit u. a. Beim Erstarren des glutflüssigen Basalts zog sich die geschmolzene Masse zu eigentümlichen, oft ganz gleichmäßig gestalteten fünf- oder sechsseitigen Säulen, bisweilen auch zu plattenförmigen Gebilden zusammen, die durch „Absonderungsklüfte" voneinander getrennt sind [1])

Dolerit enthält dieselben Bestandteile wie der Basalt, aber in deutlich kristallinisch-körnigem Gefüge

§ 37.

Der verschiedene mineralogische Charakter der sauren und basischen Gesteine muß natürlich auch in ihrer chemischen Zusammensetzung zum Ausdruck kommen Die folgende Tabelle enthält den durchschnittlichen prozentischen Gehalt der hierher gehörigen Felsarten, wie er sich aus einer großen Anzahl von Gesteinsanalysen ergibt.

I. Saure Gesteine („kiesel-ton-alkalische" Gesteine)

	Granit %	Gneis %	Glimmerschiefer %	Porphyr %
Kieselerde (SiO_2)	72	70–80	69,5–82	74
Tonerde (Al_2O_3)	16	14	12–14	12–14
Kali (K_2O)	6,5	3,0	0,8–4,7	3–4
Natron (Na_2O)	2,5	2,0	0,4–4,0	4–5
Kalk (CaO)	1,5	2,6	0,7–2,7	1,5
Magnesia (MgO)	0,5	1,5	1,0	0,5
Eisenoxyde (FeO u. Fe_2O_3)	1,5	6	3,9	2–3
Phosphorsäure (P_2O_5)	0,4–0,7	0,8	—	0,4

II. Basische Gesteine („kiesel-ton-eisen-kalkige" Gesteine)

	Diorit %	Gabbro %	Diabas %	Melaphyr %	Basalt %	Dolerit %
Kieselerde (SiO_2)	51	35,7	47,5	56,8	43,0	50,6
Tonerde (Al_2O_3)	18,5	20,8	16,3	17,8	14,0	14,1
Kali (K_2O)	2,5	1,6	0,9	2,1	1,3	1,1
Natron (Na_2O)	3,0	3,3	3,1	2,6	3,8	2,2
Kalk (CaO)	7,5	9,2	11,0	7,0	12,1	9,2
Magnesia (MgO)	6,0	1,6	6,5	3,0	9,1	5,1
Eisenoxyde (FeO und Fe_2O_3)	11,0	8,6	12,5	6,6	15,3	16,0
Phosphorsäure (P_2P_5)	0,04–1,24	?	1,3	0,16–0,3	0,5–1,1	0,03

[1]) Eine ähnliche Erscheinung tritt bei einer Gesteinsbildung ganz anderer Art, nämlich dem Seeschlick oder Seeklei, einer im feuchten Zustand breiig-speckigen

Die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der sauren und basischen Gesteine, die die vorstehende Tabelle aufweist, treten besonders deutlich in der folgenden Zusammenstellung hervor. Es schwankt nach zahlreichen Analysen der prozentische Gehalt:

	bei den *sauren* Gesteinen	bei den *basischen* Gesteinen
	zwischen	zwischen
an Kieselerde . . .	54 und 79 %	35 und 63 %
„ Tonerde	10 „ 23 „	10 „ 21 „
„ Kali	1,3 „ 8,0 „	0,1 „ 8,0 „
„ Natron	0,4 „ 9,0 „	0,2 „ 8,0 „
„ Kalk . . .	0,1 „ 4,0 „	1,8 „ 15 „
„ Magnesia . . .	0,1 „ 1,5 „	1,1 „ 11 „
„ Eisenoxyden . .	0,8 „ 7,0 „	4 „ 17 „

Die Anwesenheit von Quarz in den sauren Gesteinen spricht sich in deren höherem Kieselerdegehalt, die von Orthoklas und Glimmer in dem fast immer höheren Reichtum an *Kali* aus. Dagegen machen sich bei den basischen Gesteinen deren wesentliche Bestandteile, Augit und Hornblende, durch ihren größeren *Kalk*- und *Magnesia*gehalt bemerklich. Auch die Plagioklase, die von den Feldspaten vornehmlich an der Zusammensetzung dieser Gesteinsgruppe sich beteiligen, enthalten allermeist größere Mengen von Kalk und Magnesia, die den Gehalt der basischen Gesteine an diesen Stoffen noch vermehren.

§ 38.

Die Sedimentär-, Glazial- und äolischen Gesteine. Unter dem Einfluß gewisser Kräfte, die wir bei den Erörterungen über die Vorgänge der Bodenbildung eingehender zu besprechen haben werden, und unter denen die Wirkungen des fließenden Wassers und des schiebenden Eises eine besonders wichtige Rolle spielen, erleiden die Urgesteine eingreifende Umwandlungen, teils mechanischer, teils chemischer Natur. Sie werden in größere und kleinere Bruchstücke zertrümmert, diese werden vom Wasser fortgeführt, durch Aneinanderreiben zu immer feineren Teilen zermahlen und je nach ihrer Größe und ihrem spezifischen Gewicht bald früher, bald später abgelagert. Gleichzeitig hiermit gehen die chemischen Um-

Masse (s. unten unter Tongesteine), ein. Wenn diese auf Lagerplätzen ausgebreitet allmählich austrocknet, entstehen gleichfalls beim Schwinden der Masse säulenartige Gebilde.

wandlungen der Gesteinsgemengeteile vor sich, die bereits früher bei der Besprechung des chemischen Verhaltens der Mineralien (§§ 13—26) angedeutet wurden. Auch die im Wasser gelösten Gesteinsbestandteile der Urgesteine (die leicht löslichen Chloride, Sulfate, Nitrate — s. o.) können infolge der allmählichen Verdunstung des Lösungswassers sich ausscheiden und zum Absatz gelangen. Die mannigfaltigen Produkte aller dieser Vorgänge bezeichnen wir als „Sedimentär-" oder „Flözgesteine". Charakteristisch für dieselben ist namentlich ihr Aufbau aus einzelnen, bisweilen ganz verschiedenartigen, durch parallele Absonderungsflächen begrenzten *Schichten* oder *Bänken*, ferner das Vorkommen von Geröllen, die schon durch ihre Gestalt auf die Beteiligung des Wassers oder Eises an der Gesteinsbildung hindeuten, und das Auftreten von tierischen und pflanzlichen Resten. Je nachdem bei ihrer Entstehung hauptsächlich nur mechanische Kräfte in höherem oder geringerem Maße, oder außerdem noch chemische Umwandlungen wesentlich mitgewirkt haben, lassen sich die Flözgesteine in die folgenden Untergruppen einteilen.

1. *Sand, Kies, Grus, Schutt* oder *Schotter, Gerölle*. Man versteht darunter wesentlich durch mechanische Einwirkung auf feste Gesteine entstandene, hauptsächlich nach Größe und äußerer Form unter sich verschiedene lose neben- oder übereinander liegende Gesteinstrümmer Die *Sande*, bestehend aus kleinen Mineralbruchstücken von mindestens 0,05 mm Durchmesser, bilden dem äußeren Ansehen nach in sich gleichartige Massen. Da über ihre Entstehung lange Zeit vergangen ist, so sind ihnen viele leichter angreifbare Mineralbestandteile entzogen worden, während die widerstandsfähigsten sich stark angehäuft haben Die meisten Sande sind daher reich an Kieselerde („Quarzsand") Neben dem Quarzsand enthalten aber fast alle Sande und besonders, im Gegensatz zu den Tertiärsanden, die der Quartärformation (Alluvium und Diluvium) noch mehr oder weniger unzersetzte Gesteinstrümmer (Grande), nicht selten auch nachträglich eingeschlämmte mineralische Bestandteile (Aluminium-, Eisen-, Calciumverbindungen) oder auch Rückstände pflanzlicher oder tierischer Natur. So bildet sich unter dem Einfluß der dem Sande auflagernden Humusschicht der „Bleisand" oder „Bleichsand", ein ausgebleichter bleigrauer, schwach humoser, wenig fruchtbarer Sand, der sich vielfach unter Hochmooren und in den tieferen Schichten heidewuchsiger Sandböden findet.

Die Diluvialgrande pflegen um so reicher an Kalk und Feldspatmineralien zu sein, je größer ihr Korn ist. Dementsprechend enthalten auch die Sande des Diluviums bis zu einer gewissen Grenze um so mehr Quarz, aber um so weniger Feldspat und Kalk, je feinkörniger sie sind. Dagegen steigt der Kalkgehalt in den allerfeinsten Teilchen wieder bis zu beträchtlicher Höhe.

Als *Spatsand* bezeichnet man einen an Feldspatkörnchen reichen, meist etwas kalkhaltigen, groben bis sehr feinkörnigen, als *Mergelsand* einen aus feinstem Quarz und anderem Gesteinsstaub bestehenden, oft bis 15 und mehr Prozent Calciumkarbonat enthaltenden Sand, der in feuchtem Zustande große Ähnlichkeit mit Ton besitzt, beim Austrocknen zwar etwas erhärtet, aber schon bei leichtem Druck zu Staub zerfallt. Durch Auswaschung des Kalks geht er in den durch Eisen oder andere Beimengungen meist rötlich gefärbten „Schlepp" oder „Schluffsand" über. Aufnahme von Ton wandelt ihn in „Fayencemergel" um. Beide Sande gehoren dem *Diluvium* an

Die Sande des *Alluviums*, sowohl die vom Winde („äolische" Bildungen) als die durch die Tätigkeit des Wassers abgelagerten, unterscheiden sich von denen des Diluviums hauptsachlich durch das Fehlen von Kalk und durch gleichmäßigere Kornung.

Die vom Winde verwehten besonders feinkornigen, ton- und kalkarmen[1]) Sande, allermeist diluvialer Herkunft, werden *Flugsand* oder *Dunensand* genannt. Zu ihnen gehoren auch die Wustensande.

Die sehr feinkörnigen Sande, so der „Schlepp" (s. o.), bilden mit Wasser die „*schwimmenden*", „*fließenden*", „*Trieb*"- oder „*Flott*"-*Sande*, die sich wie dickliche Flüssigkeiten verhalten und unter Druck gesetzt aus vorhandenen Spalten hervorquellen.

Als „*Kies*" bezeichnet man Anhäufungen von Sandkornern von der Große kleiner Erbsen, als „*Grus*" solche von erbsen- bis haselnußgroßen Gesteinstrümmern.

„*Schutt*" oder „*Schotter*" nennt man besonders grobe Gesteinsbruchstucke, die, meist in unmittelbarer Nahe des Muttergesteins liegend, noch wenig verändert, also scharfkantig sind. Werden sie durch fließendes Wasser oder durch vorruckendes Eis (Gletscher, Moranen) unter äußerer Abschleifung und Abrundung vom Ort ihrer Entstehung fortgefuhrt, so entstehen daraus die „*Gerolle*"

2. *Sandsteine*, *Breccien*, *Konglomerate* Vielfach gehen die Sande, Schotter und Gerolle wieder in feste Gesteine uber, indem die erst lose beieinander liegenden Gesteinsreste durch Bindemittel verschiedenster Art verkittet werden Zu den Bindemitteln von großer Klebkraft gehoren in erster Linie Stoffe uber die unten (§ 84, 85) eingehend berichtet werden soll, gewisse *Kolloide* Man rechnet dazu unter vielen anderen Stoffe mineralischer Natur, so die gallertartige Kieselsäure (S. 31), das Eisen-

[1]) In Flugsandhugeln vorkommende kalkreiche Bildungen sind von außen her eingeweht oder eingeschwemmt (Reste von Schnecken- und Muschelgehausen, ferner die sogenannten „Beinbruchsteine", Überreste von Baumwurzeln, die das eingeschwemmte Calciumkarbonat in sich angehauft und bei ihrer Vermoderung als eigentumliche rohrenformige Gebilde zurückgelassen haben.)

hydroxyd und Aluminiumhydroxyd (S 50) und Ton, aber auch Verbindungen pflanzlicher Herkunft wie die Humusstoffe

Aus den Sanden entstehen die *Sandsteine*, aus dem scharfkantigen Schutt die *Breccien*, aus den abgerundeten Gesteinstrummern, den Gerollen, die *Konglomerate*. Diese verschiedenen Gebilde finden sich in zahlreichen geologischen Formationen. Dem Vorkommen des Sandsteins in verschiedenen *Formationen* entsprechen z. B. die Benennungen: Silur-, Steinkohlensandstein, Buntsandstein, Keuper-, Lias-, Molassesandstein, während man den Sandstein der Kreideformation wegen seiner eigentümlichen Schichtung als „Quadersandstein" bezeichnet. Neben dem Gehalt des Sandes an unzersetzten Gesteinstrummern und nachtraglich hinzugetretenen Stoffen (s. o) ist die Art des Bindemittels, welches die Sandkörner zu Sandstein zusammenkittete, entscheidend fur die Zusammensetzung des letzteren Es kann neben den oben genannten Kolloiden auch aus Calciumverbindungen, Calciumkarbonat, Calciumsilikat, bestehen. Je nach der Natur des Bindemittels unterscheidet man *kieseligen*, *tonigen*, *eisenschüssigen*, *kalkigen*, *Humus Sandstein*. Eine Abart des Humus-Sandsteins bildet der *Ortstein* („Ur", „Ahl", in Frankreich· „Alios", „Fuchserde"), eine meist wenig machtige Sandsteinschicht von größerer oder geringerer Festigkeit, deren Entstehung darauf zuruckzufuhren ist, daß organische, aus abgestorbenen Gewächsen, namentlich aus heidekrautartigen Pflanzen ausgelaugte Humusstoffe in den darunter liegenden Sand eingedrungen sind und dessen Korner verkittet haben[1].

Die verschiedene Zusammensetzung der Sandsteine moge durch die folgenden Analysen belegt werden.

	Kieseliger Sandstein %	Toniger Sandstein %	Eisenschüssiger Sandstein %	Kalkiger u. toniger Sandstein %	Ortstein %
Kieselerde (SiO_2)	98,5	80,6	70,3	61,2	84,9
Tonerde (Al_2O_3).	0,8	9,2	8,1	} 13,7	10,3
Eisenoxyde (FeO u. Fe_2O_3)	0,5	2,4	9,5		0,5
Kalk (CaO).	Spur	1,8	1,1	10,5	0—0,5
Magnesia (MgO) . . .	0,24	1,3	0,3	0,6	0,2
Humose Stoffe	?	?	?	?	2,1—10
Kali (K_2O)	Spur	1,7	1,7	0,9	0,8
Natron (Na_2O)	Spur	1,4	1,9	0,8	1,0
Phosphorsäure (P_2O_5) . .	?	0,1	?	0,1	0,1
Kohlensäure (CO_2) . .	—	—	—	7,8	—

[1]) Die Bezeichnung „Ortstein" wird in verschiedenen Gegenden und auch von mineralogischen Schriftstellern fur Naturerzeugnisse von offenbar verschiedener

Die Härte und auch die sonstigen Eigenschaften der Sandsteine sind sehr verschieden. In einem und demselben Steinbruch findet man Schichten, die vom Bodenwasser durchsetzt, im „bergfeuchten" Zustand sich mit einem schwachen Messer schneiden lassen, und andere, die äußerst harte Gesteine liefern. Auch beobachtet man nicht selten in Wechsellagerung ganz feinkörnige und grobkörnige bis konglomeratartige Schichten.

Bei den *Breccien* und *Konglomeraten* zeigt die Art des Bindemittels einen geringeren Einfluß auf deren Zusammensetzung als bei den Sandsteinen, weil es seiner Menge nach weit hinter den groben Gesteinstrümmern zurücktritt [1]).

3. *Die Tone und Tongesteine* unterscheiden sich von den bisher besprochenen Untergruppen namentlich dadurch, daß sie im wesentlichen aus den staubfein verteilten Produkten tief eingreifender chemischer Zersetzungen der ursprünglichen Gesteine bestehen. Ihr Hauptbestandteil ist stets Aluminiumsilikat, das aber fast immer von größeren oder geringeren Mengen unverbundener Kieselerde (Quarzsand) und anderen mehr oder weniger veränderten Bestandteilen des Muttergesteins begleitet ist. Je mehr die Nebenbestandteile, z. B. feiner Quarzsand, Glimmerblättchen, Eisenhydroxyd, vorwiegen, um so mehr verliert der Ton die den Kaolin auszeichnende Eigenschaft der Plastizität (S. 41). Betragen die Nebenbestandteile 70—80% der Gesteinsmasse, so bezeichnet man diese als *Lehm*. „Geschiebe"- oder „Block"lehm nennt man einen durch Auswaschung des Kalks aus dem Geschiebemergel (s. u. Nr. 5 a) hervorgegangenen, fast stets ungeschichteten, bisweilen mehr tonigen, meist aber stark sandigen,

Herkunft und Art gebraucht. Manche Mineralogen (Senft, Credner, Klockmann) rechnen den Ortstein schlechtweg den Raseneisensteinen oder Limoniten (S. 50) zu, deren charckteristische Bestandteile *Eisenverbindungen* sind. Dagegen sind die hauptsächlich in Holland, Hannover, Schleswig-Holstein, Mecklenburg auftretenden, nach neueren Untersuchungen aber auch im Buntsandsteinboden und im Granitboden des Schwarzwaldes vorkommenden Ortsteinbildungen nicht selten ganz eisenfrei, so daß sie beim Glühen feinen weißen Sand hinterlassen. Bisweilen treten sie in leicht zerreiblicher Form als „Ortsand", bisweilen aber auch in steinharten, für das Bodenwasser und die Pflanzenwurzeln gänzlich undurchlässigen Schichten auf. Nach dem Durchbrechen mit geeigneten Pflügen an die Oberfläche befördert, zerfällt der eigentliche Ortstein infolge Verwesung der Humusstoffe zu hellem Sand.

[1]) Wenn auch auf andere Weise entstanden, so schließen sich diesen Gesteinen, ihrer äußeren Beschaffenheit nach, die Lava-Schlacken an, gröbere vulkanische Ausbruchsprodukte („Lapilli"), deren Muttergestein meist Basalt oder Trachyt ist. Gleichzeitig werden häufig von Vulkanen feinkörnigere Produkte ausgeworfen, deren gröbere man als *vulkanische Sande*, deren staubförmige Teile man als *vulkanische Aschen* oder, wenn sie für sich oder durch ein Bindemittel verkittet sich zu festen Massen aneinander gelagert haben, als *Tuffe* bezeichnet.

kleinere und größere Steine und Blöcke einschließenden, „Lößlehm“ einen ebenso aus ursprünglich kalkreichem Löß (s. u. Nr. 5 b) entstandenen, sehr feinkörnigen Lehm. Tonablagerungen gehen sehr häufig, wahrscheinlich unter dem Druck darüber befindlicher Wasser- oder Gesteinsmassen, in feste Gebirgsarten (*Tongestein*) über, die man, wenn sie zwar ausgesprochen schiefrig[1]), dabei aber noch nicht sehr fest sind, „Schieferton“, wenn sie bei deutlich schiefrigem Gefüge große Härte besitzen, „Tonschiefer“ nennt. Als „Bänderton“ bezeichnet man schiefrige Tonabsätze aus Gletscherschmelzwassern (s. u.), die bisweilen durch die verschiedene Körnigkeit und Färbung der „Bänder“ („Jahresringe“) die Jahreszeit ihrer Entstehung erkennen lassen. Nur schwache Schieferung zeigt der *Letten*, ein zäher, dabei häufig an sehr feinem Sand reicher, beim Austrocknen steinartig erhärtender, im Wasser allmählich zerfließender Ton. Tongesteine finden sich in allen Formationen. Die Tonschiefer der ältesten Formationen bezeichnet man als *Urtonschiefer*, *Tonglimmerschiefer* oder *Phyllit*. Im Gegensatz zu den harten Tongesteinen kommen die *Tone* hauptsächlich in der Tertiärformation, aber auch im Diluvium und Alluvium vor.

Unter den Tonen des Alluviums unterscheidet man zwischen dem aus *stehendem* Wasser abgeschiedenen, groberen Sand kaum enthaltenden, an Calciumkarbonat oft reichen *Wiesenton* (im Untergrunde mancher Moore) und aus dem *langsam fließendem* Wasser abgesetzten *Flußton* oder *Schlick* in den Niederungen und Deltabildungen der norddeutschen Ströme. Mit der Flußgeschwindigkeit der Gewässer, woraus der Absatz erfolgte, nimmt der Gehalt des Schlicks an gröberen Teilen zu. Grobsandige Schlicke bezeichnet man als *Flußlehm*. Die Flußtone und Lehme sind im Gegensatz zu dem Seeschlick (s. unter Nr. 5 c) Nordwestdeutschlands frei von Calciumkarbonat, falls solches nicht aus den Talrändern nachträglich eingeschwemmt worden ist.

Je nach dem Gehalt an Nebenbestandteilen schwankt die Zusammensetzung der Tone und Tongesteine in ziemlich weiten Grenzen, wie die folgenden, einer größeren Anzahl von Analysen entnommenen Grenzzahlen dartun.

[1]) Schiefrige Beschaffenheit ist nicht gleichbedeutend mit Schichtung (§ 3 u. S. 62). Zwar entsteht die Schieferung häufig ebenso wie die Schichtung beim Absatz der in stehenden Gewässern schwebenden Gesteinsteilchen je nach dem größeren oder geringeren spezifischen Gewicht. Sie kann sich aber auch durch Druckwirkungen innerhalb von Gesteinsschichten in Richtungen bilden, die von der Schichtungsrichtung abweichen. (So vermag man auch künstlich Schieferung in Wachs, Ton, Blei durch Einwirkung hohen Druckes hervorzurufen, wenn dabei die Masse nach einer Richtung ausweichen kann.

	Ton-schiefer %	*Schiefer-ton* %	*Ton* %
Kieselerde (SiO_2)	46—75	59—73	49—77
Tonerde (Al_2O_3)	24—10	26—16	30—11
Kali (K_2O)	1,6—3,5	1,4—3,2	Spur—4,7
Natron (Na_2O)	0,5—3,4	0,3—0,8	Spur—2,7
Kalk (CaO)	0,2—5,2	0,1—1,2	0,4—4,4
Magnesia (MgO)	0,6—3,6	0,3—0,9	0,2—5,9
Eisenoxyde (FeO und Fe_2O_3)	1,9—1,7	1,0—5,6	7,2—1,0
Phosphorsäure (P_2O_5)	0,1—0,8	0,5	Spur—2,1

Je nach der geringeren oder größeren Beimengung von Nebenbestandteilen bezeichnet man den Ton als „fett“ oder „mager“.

Über die „kolloidalen“ Eigenschaften des Tons s. u.

4. *Die Kalkgesteine* Auch diese Gesteine sind das Produkt einer weitgehenden Zersetzung der plutonischen Gesteine. Wie früher (§ 36) dargelegt wurde, enthält eine Gruppe der Eruptivgesteine, die wir als „basische“ Gesteine bezeichneten, größere Mengen von Calciumsilikat Bei ihrer Verwitterung wandelt sich ein Teil des kieselsauren Calciums in kohlensaures Salz um, das sich in kohlensäurehaltigem Wasser als saures Karbonat löst und so in die natürlichen Gewässer gelangt. (Ein Beispiel für das Auftreten der „Massenwirkung“ — s § 8 — insofern, als die Verdrängung der Kieselsäure durch die chemisch schwache Kohlensäure nur durch die überwiegende Menge der atmosphärischen Kohlensäure zustande kommt[1]). Sobald aus den Karbonaten Kohlendioxyd abdunstet oder von Wasserpflanzen aufgenommen wird, scheidet sich ein entsprechender Teil des Calciumsalzes als normales Karbonat ab (§ 19). Mannigfache tierische Wesen ferner, die kohlensaures Calcium zum Aufbau ihres Knochengerüstes, ihrer Gehäuse usw gebrauchen, nehmen es aus seiner Lösung auf und hinterlassen es nach dem Absterben vermischt mit ihren sonstigen Resten. Da in dem Muttergestein der Kalksteine allermeist auch größere Mengen von *Magnesium* vorkommen, so findet neben der Abscheidung von Calciumkarbonat nicht selten auch eine solche von kohlensaurem Magnesium statt, und es entsteht ein Absatz von *Dolomit*[2]) oder *dolomitischem Kalk* (§ 19, 3). Unter dem Druck darüberlagernder Wasser- oder Gebirgsmassen haben sich die zuerst breiigen Absätze zu *Kalkstein* verdichtet Die wahrscheinlich ohne Mitwirkung lebender Organismen gebildeten Kalksteine gehören meist den ältesten Gebirgsformationen an

[1]) S übrigens S 40 Anm.

[2]) So benannt nach dem französischen Mineralogen Dolomieu.

und besitzen ein kristallinisch-körniges Gefüge (Marmor). An der Bildung der den jüngeren Formationen angehörigen Kalkablagerungen haben wohl allermeist pflanzliche oder tierische Lebewesen mittelbar oder unmittelbar mitgewirkt, indem sie dem calciumkarbonathaltigen Wasser Kohlendioxyd und damit das losende Agens entzogen (§ 19) und so das normale Salz zum Absatz brachten oder das letztere in ihren Organen aufspeicherten [1]). Sie pflegen sehr feinkörnig oder feinerdig zu sein und zahlreiche Reste der Lebewesen zu enthalten, die an ihrer Bildung tätig gewesen sind. Die Namen *Muschelkalk*, ferner „Terebratel"-, „Enkriniten"-, „Korallen"-, „Nummulitenkalk" (das Baumaterial der Pyramiden) u. a. sind den Organismen entnommen, deren Überbleibsel man am häufigsten in ihnen findet, und die einst zur Anhäufung des Karbonates beigetragen haben. So sind nach heutiger Anschauung auch die Dolomiten, jene majestätischen Felsgebilde, wie sie z. B. im südlichen Tirol des Wanderers Herz erfreuen, ein Produkt tierischer Tätigkeit: Korallenriffe, die über den Spiegel des früher jene Gegenden bedeckenden Meeres hinauswuchsen [2]). Auch die *Kreide*, ein erdiger, weicher Kalkstein, bildete sich aus mikroskopisch kleinen Schalen einzelliger Urtierchen („Foraminiferen", „Polythalamien" oder „Kammerlingen"), die den Kalk des Meereswassers zum Aufbau ihrer Gehäuse verwenden. Der nach ihrem Absterben zu Boden sinkende Kreideschlamm bedeckt schätzungsweise zwei Fünftel des heutigen Meeresbodens. Durch den gewaltigen Druck des tausende von Metern darüber stehenden Meereswassers wurde er zu festen Massen und bildete nach dem Ablaufen des Wassers mächtige Kreidefelsen (Ostküste von Rügen).

Der die tieferen Schichten der Muschelkalkformation bildende *Wellenkalk* tritt in dünnen gefältelten Schiefern auf und besteht ebenso wie der im oberen Muschelkalk vorkommende *Schaumkalk* nicht selten aus fast reinem Calciumkarbonat. Der *Kalktuff* (in Italien als Travertin bezeichnet), ein Glied des Alluviums oder des Diluviums, bildet poröse, feste, oft in mächtigen und umfangreichen Lagern auftretende, nicht selten Pflanzen- und Tierreste einschließende und von Eisen- oder Manganbeimengungen mehr oder weniger intensiv gefärbte Massen von hohem, 90 % erreichenden Calciumkarbonat-Gehalt, die auch als Baustein benutzt werden.

Zahlreiche an ihrer Entstehung beteiligte Organismen pflanzlicher und tierischer Natur pflegen die Süßwasserablagerungen von äußerlich der

[1]) In hervorragendem Grade besitzen z. B. diese Fähigkeit die in stehenden Gewässern lebenden Characeen („Armleuchtergewächse" oder „Wassersterne"), die in ihrer Trockenmasse bis zu 50 % aus Calciumkarbonat bestehen können.

[2]) Während des Aufwachsens der Korallenfelsen entstanden gleichzeitig aus den im Meereswasser sich absetzenden Sedimenten ganz verschiedene Gesteinsarten in gleicher Gegend („Facieswechsel" nach geologischer Sprechweise)

Kreide ähnelndem *Wiesenkalk* (in Süddeutschland „Alm“ genannt) zu enthalten. Sie häufen sich vielerwärts auf dem Grunde von Landseen an und bilden nach deren Vertorfen den Untergrund der entstehenden Moore. Nicht selten ist der Wiesenkalk mit größeren Mengen von eingeschwemmtem Ton durchsetzt („Wiesenmergel“), auch kann die Beimengung von pflanzlichen Resten so stark sein, daß er dadurch eine dunkle Färbung erhält („Kalkmoor“, „Moormergel“).

Zusammensetzung der Kalkgesteine. Kennzeichnend für die Beteiligung tierischer und pflanzlicher Lebewesen an der Bildung aller dieser Kalke ist auch deren größerer oder geringerer Gehalt an *Phosphorsäure*. Je nach dem Vorkommen in den verschiedenen Gebirgsformationen spricht man von „Urkalk“, „Silur“-, „Devonkalk“, von Muschelkalk, Jurakalk, Kreide, Süßwasserkalk usw. Über die prozentische Zusammensetzung verschiedener Kalkgesteine mögen die folgenden Zahlen Auskunft geben.

	Dolomit und dolomitischer Kalk %	Kalkstein aus verschiedenen Formationen %	Kreide (weiße) %	Wiesenkalk und Wiesenmergel des Alluviums %
Calciumkarbonat . .	54—63	83—98	80—99	50—88
Magnesiumkarbonat .	45—19	4—0,3	2,2—0,1	1,0 - Spur
Ton	0,1—2,9	0,3—3,5	wenig	1—30
Phosphorsäure (P_2O_5) .	—	0,1—0,8	0,1—0,2	Spur—0,3
Organische Stoffe . .	—	wenig	wenig	bis 9,5

Finden die Kalkausscheidungen aus natürlichen Wässern gleichzeitig mit der Ablagerung von Ton und Sand statt, oder setzt sich das Calciumkarbonat aus Wasser ab, welches tonige und sandige Massen durchströmt, so entstehen innige Gemische von kohlensaurem Calcium, Ton und Sand, die sogenannten

5. *Mergel*[1]), die man, je nachdem dieser oder jener Bestandteil besonders stark vertreten ist, als *Kalkmergel, Tonmergel, Lehmmergel* oder *Sandmergel* bezeichnet. Bei den üblichen Benennungen ist die Abgrenzung der verschiedenen Mergelarten meist eine sehr willkürliche. Einen über 60 % Calciumkarbonat enthaltenden Mergel pflegt man als „Kalkmergel“

[1]) Auch die Mergel finden sich in vielen, namentlich aber in den mittleren und jüngeren Gesteinsformationen der Erdrinde (s. § 3). So der „bunte Mergel“ oder „Rot“ im Buntsandstein, der oft steinartig erhärtete, aber allmählich zerfallende „Keupermergel“, der „Mergelschiefer“ des Jura, die „Plänermergel“ der Kreide, die „Septarienmergel“ der Tertiärformation (das Muttergestein der wertvollen Weinbergsboden von Hattenheim, Eltville, Hochheim), die Geschiebemergel des Diluviums (s. u.) usw.

zu bezeichnen. Bei „Tonmergel" setzt man einen Tongehalt von mindestens 40 %, bei „Lehmmergeln" einen solchen von etwa 20—40 % und einen hohen Sandgehalt voraus, während bei den „Sandmergeln" der Tongehalt sehr zurück- und dafür der Sand in den Vordergrund tritt. Dabei kann bei den letztgenannten Mergeln der Gehalt an Calciumkarbonat auf 10 % und noch tiefer sinken.

5 a. Unter den Mergeln nimmt, weniger durch seine chemische Zusammensetzung als durch die besondere Art seiner Entstehung, der *Geschiebemergel,* auch „Diluvial"- oder „Moränenmergel", eine besondere Stellung ein. Er ist, wie unten (§ 41) näher dargelegt werden wird, die durch Verschwemmungs-, Verwehungs- und Verwitterungsvorgänge mehr oder weniger veränderte, aber noch nicht ihres ursprünglichen Kalkgehaltes beraubte [1]) Grundmoräne des Inlandeises der Diluvialzeit (s. außerdem § 3), gehört also den glazialen Gebilden an. Er besteht aus großen, kleineren und kleinsten Bruchstücken sämtlicher die Oberfläche Schwedens, Norwegens und Finnlands bildenden Gesteine, im Gemenge mit dem beim Vorrücken des Eises vom Küstengebiet der Ostsee mitgeschleppten Steingeröll aus den ältesten und aus den der Diluvialzeit unmittelbar vorhergehenden geologischen Perioden. Im Gegensatz zu den darunter anstehenden höchst einförmigen Bestandteilen des Tertiärs besteht also der Geschiebemergel aus Gebilden von größter Mannigfaltigkeit, nicht nur nach Korngröße, sondern auch nach mineralogischem Charakter. Abweichend von den meisten Ablagerungen aus fließendem Wasser zeigt er keine geschichtete Lagerung.

So verschiedenartig seine Bestandteile (im wesentlichen Feldspat, Quarz, Kalk, Ton) unter sich sind, so weisen doch die Geschiebemergel der verschiedenen Örtlichkeiten, wenigstens in Norddeutschland, allermeist eine auffällige Gleichmäßigkeit in ihrem Gehalt an grandigen, sandigen und tonigen Teilen auf.

An ihrer Zusammensetzung beteilgen sich

	die grandigen Teile	die sandigen Teile	die tonigen Teile
mit etwa	1—5	60—70	30—40 %

Die Hauptmasse bildet hiernach der Sand, der aber immer mit größeren oder geringeren Mengen von Ton durchsetzt ist.

Der Gehalt der Geschiebemergel an *Calciumkarbonat* schwankt gewöhnlich zwischen 6—12 %, kann aber bis auf 3 % heruntergehen und bis auf 20 % ansteigen. Er ist am größten in den weniger verwitterten

[1]) Der durch Auswaschung entkalkte, noch tonhaltige Rückstand des Geschiebemergels wird als *Geschiebelehm,* der an Ton und meist auch an Kalk arme Rest des Geschiebemergels als *Geschiebesand* bezeichnet. Kennzeichnend für alle diese Gesteine ist der größere oder geringere Gehalt an unzersetzten Gesteinsmassen („Geschieben").

grobgrandigen Gemengteilen, am kleinsten im Sand und steigt dann wieder in den tonigen Teilen.

Der Gehalt an *Kieselerde* (Quarz) überwiegt in den sandigen Bildungen um so mehr, je feinkörniger sie sind.

Der *Feldspat* und die — stets in weit geringeren Mengen vorhandenen — sonstigen Silikate herrschen ebenso wie das kohlensaure Calcium in den grobgrandigen Teilen vor und sinken in den Sanden, aber nicht unter 2—3 %.

Diese Verhältnisse sind für die Beurteilung der aus dem Geschiebemergel hervorgegangenen Böden von größter Bedeutung (s. u.).

Auf den geologischen Karten des norddeutschen Flachlandes unterscheidet man zwischen *unterem* und *oberem* Geschiebemergel. Der untere Geschiebemergel ist durch beigemengte organische Bestandteile meist dunkelgrau und braun gefärbt, der obere erscheint gewöhnlich gelblich und ist infolge seiner geringeren Mächtigkeit durch stärkere Auswaschung kalkärmer geworden. Unter der abschwemmenden Wirkung des Wassers ist aus dem nicht geschichteten Diluvialmergel bisweilen ein von Geschieben freier, an Kalk weit reicherer und Schichtung aufweisender Ton- oder Kalkmergel hervorgegangen (z. B. Mergel von Westerweihe im Lüneburgschen).

5 b. Dem Diluvium entstammt endlich noch eine hierher gehörende Gesteinsbildung, an deren Entstehung bisweilen wohl die Wirkung fließenden Wassers, zum überwiegenden Teil aber die Gewalt der Winde beteiligt ist, und die man daher den „äolischen" Bildungen zurechnet. Das ist der *Löß*. Er entstand seinerzeit in regenarmen Perioden [1]) und füllte nicht selten in mächtigen Lagern tiefe Täler und sonstige Bodensenkungen aus. Er besteht aus den feinsten Zerreibungsprodukten der Eiszeitsgesteine und bildet ein gelbliches, abfärbendes mehliges Gemenge von sandigen und tonigen Stoffen, Calciumkarbonat-, Magnesiumkarbonat-, Feldspat- und Glimmerteilchen. Häufig ist die Masse durchsetzt von feinen, von weißem Calciumkarbonat umgebenen Röhrchen, herrührend von Steppengräsern, deren humifizierte Reste sie dunkler färben. Nach dem Absatz der Lößlager hat dann in feuchteren Zeiten ein Auswaschen des Calciumkarbonats stattgefunden, und aus diesem sind die häufig auf der Sohle

[1]) Nach Ablauf der Eiszeit hat wahrscheinlich in Mitteleuropa lange Zeit trockenes Steppenklima geherrscht. Die über die fast pflanzenleeren, mit „erratischem" Schutt bedeckten Flächen hinwegbrausenden Winde hoben den feinen Gesteinsstaub empor und trugen ihn soweit, bis er im Windschutz vorgelagerter Anhöhen zum Absatz kam. Der Georgraph F. v. Richthofen, von dem die Theorie von der Lößbildung durch Windwirkung herrührt, fand in China Lößansammlungen von 1000 Fuß Mächtigkeit (bei uns übersteigt die Stärke der Lößablagerungen in der Ebene nur selten 5 m.

der Lager sich findenden eigentümlichen Kalkgebilde, die „Lößmännchen" oder „Lößkindl" entstanden.

Bei stärkerer Auslaugung des Kalks geht der Löß in *Lößlehm* über und gewinnt damit zu einem geringen Teil die dem eigentlichen Löß gänzlich fehlende Formbarkeit tonreicher Böden.

Die folgende Tabelle gibt die *prozentische Zusammensetzung* einiger Mergelarten und Löße wieder:

	Kalk-mergel %	Ton-mergel (Westfalen Kreis Ahaus) %	Lehm-mergel (Westfalen Kreis Herford) %	Sand-mergel (Westfalen Kreis Borken) %	Unterer Ge-schiebe-mergel [1]) (Mark) %	Löß %
Calciumkarbonat . .	84,1	27,6	25,0	24,2	} 19,1	10—29
Magnesiumkarbonat .	1,1	1,2	1,6	1,2		9—2
Ton	—	45,7	23,7	4,8	9,6	}75—44
Sand	0,1	14,2	24,7	66,0	71,1	
Phosphorsäure (P_2O_5)	0,04	?	?	0,8	?	0,1—0,5

5 c. Als einen Lehmmergel kann man den dem Alluvium angehörigen, noch fortwährend sich bildenden *Seeschlick* oder „Seeklei", das Bildungsmaterial des „Marschbodens" (s. u. „Verschwemmung" sowie „Kuhlerde" und eines der vortrefflichsten Verbesserungsmittel für Sand- und Moorboden ansehen. Er besteht aus feinstzerriebenen Bestandteilen aller von ihrem Quellgebiet an bis an die Mündung durchströmter Gebirgsarten, die der Fluß, solange er nicht durch das Entgegenstemmen des Meerwassers seiner Tragkraft beraubt ist, als Schwebestoffe [2]) mit sich führt. Aus ihnen bildet sich fortwährend im Gebiet der Ebbe und Flut der von der Nordspitze der Jütischen Halbinsel an der Nordseeküste entlang bis an die Scheldemündung sich hinziehende äußerst fruchtbare Landstreifen den man als „Marschen" bezeichnet. Der im Fahrwasser der Flüsse und in den Häfen sich absetzende Schlick muß durch Bagger beseitigt werden. Zur Bodenverbesserung ist er erst zu verwenden, wenn die im nassen Zustand breiige, allmählich „speckig" werdende Masse durch längeres

[1]) Im Geschiebe- (Lehm-) mergel findet sich der Kalk zum Teil in Form von dichtem Kalkstein oder Kreide, zu einem sehr großen Teil aber in sehr feiner Verteilung. Diesem Umstand und dem hohen Gehalt des „Sandes" an feinem kalireichen Gesteinstaub ist vielleicht die besonders günstige Wirkung dieser Mergel als Meliorationsmittel zum Teil zuzuschreiben.

[2]) Auf den Absatz der Schwebestoffe wirkt neben der abnehmenden Tragkraft des Wassers auch dessen Vermischung mit dem salzreichen Meerwasser hin (s. Kolloide, § 84).

Lagern einen großen Teil ihres Wassers verloren hat. Eine eigentümliche Wirkung übt auf die Beschaffenheit des Schlicks der Frost aus. Als bei Versuchen der Moor-Versuchsstation [1]) ein aus Schlick geformter Würfel starker Kälte ausgesetzt wurde, umgab er sich mit einer dicken, aus dem ausgetretenen Wasser entstammenden Eisschicht, durch die hindurch sich zahlreiche Risse und Abblätterungen der vorher zäh zusammenhängenden Masse erkennen ließen. Nach dem Auftauen, wobei von dem vorher vorhandenen Wasser 30 % abflossen, hatte sich der vorher speckige, formbare Schlick in ein lockeres Krümelgemenge umgewandelt, das bei leiser Berührung zu feinem, leicht streubaren Pulver zerfiel. (Eine für die Verwendung des Schlicks als Bodenverbesserungsmittel und für die Kultivierung des aus Seeschlick bestehenden Marschbodens äußerst belangreiche Folge des Frostes!) Nach Untersuchungen der *Moor-Versuchsstation* wurden gefunden in trockenem Seeschlick von der

	Emsmündung	Wesermündung	Elbmündung
	%	%	%
Calciumkarbonat ($CaCO_3$)	10,45	8,25	7,72
Kali (K_2O)	2,60	1,97	2,22
Magnesia (MgO)	2,22	1,61	1,57
Eisenoxyd und Tonerde (Fe_2O_3, Al_2O_3)	10,72	?	16,74
Phosphorsäure (P_2O_5)	0,20	0,20	0,13
Kieselerde (SiO_2)	54,53	65,18	61,04
Stickstoff	0,28	0,32	?

Der nicht unbeträchtliche Stickstoffgehalt ist fast ausschließlich in organischen Verbindungen (Pflanzen- und Tierresten) vorhanden. Außerdem enthält der frisch abgesetzte Schlick Chloride und Sulfate des Meerwassers, Eisenoxydul und Einfachschwefeleisen (FeS) Abgesehen von der größeren oder geringeren Beimengung von Sand (Kieselerde) sind die an der Mündung der drei Flüsse abgesetzten Schlickmassen fast gleich zusammengesetzt. Bei längerem Lagern erleidet der Seeschlick durch chemische Umsetzungen und durch Auswaschung mannigfache Veränderungen Er wird ärmer an den leicht löslichen Seesalzen und an kohlensauren Verbindungen. Das Einfachschwefeleisen setzt sich zu freiem Schwefel und Eisenoxyd um, und dieses sowie das aus Eisenoxydul hervorgehende Ferrioxyd gibt dem Material eine rötliche Färbung. Ist damit eine erhebliche Abnahme an Calciumkarbonat verbunden, so wird er in manchen Gegenden als „Knick" bezeichnet. (Weiteres darüber s unter Seemarschboden.) Über die verhängnisvolle Bildung von Eisenkies im Seeschlick s. u.

[1]) Arbeiten der Moor-Versuchsstation. Fleischer, Die Materialien zur Düngung und Meliorierung des Moorbodens, Landwirtschaftl. Jahrbücher 1883 S. 215 ff.

Von zwei weiteren gleichfalls dem Alluvium zugehörigen Mergelarten, dem *Wiesenmergel* und dem *Moormergel*, ist bereits im Anschluß an den Wiesenkalk unter 4. die Rede gewesen Desgleichen ist der in verschiedenen Formationen vorkommenden Sedimente von Steinsalz und anderen Salzen des Meerwassers schon gelegentlich der Erorterungen über Sulfate und Chloride (§ 23—27) gedacht worden. Weiteres darüber s. u. unter Salzablagerung

Eine andere, von vielen Geologen gleichfalls den Sedimentärgesteinen zugerechnete Bildung, der Torf, soll erst in einem späteren Kapitel abgehandelt werden.

Zweites Kapitel.

Die Vorgänge bei der Bodenbildung.

Schon bei der Besprechung der gesteinbildenden Mineralien und mehr noch der sedimentaren oder Flözgesteine wurden einige der wichtigsten Faktoren angedeutet, die unablässig an der Umwandlung der harten Erdrinde in eine lose, lockere, fur die Hervorbringung von Pflanzen geeignete Erdmasse, mit einem Wort, in „Boden" tatig sind Ihre Natur und ihr Walten eingehender zu erörtern ist die Aufgabe dieses Kapitels.

Die bei der Bodenbildung beteiligten Krafte sind teils mechanisch, teils chemisch, teils biologisch wirkende.

A. Mechanische Vorgänge.

§ 39.

Temperaturänderungen. Bei steigender Temperatur vergrößern, bei sinkender vermindern mit wenigen Ausnahmen alle Körper ihr Volum, und zwar sowohl je nach dem stärkeren oder schwächeren Ansteigen und Sinken der Warme, als auch nach ihrer verschiedenen Beschaffenheit in verschiedenem Maße. Bei gleichartigen Korpern dehnt sich die starker erwarmte Oberfläche mehr aus als das schwacher erwärmte Innere, in Körpern, deren Masse verschiedenartige Bestandteile enthält, auch bei gleichmäßiger Durchwärmung der eine Gemengteil mehr als der andere Hierdurch werden bei Gesteinen, die sehr starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, im Innern Zerrungen und Pressungen hervorgerufen, die eine um so stärkere Lockerung des Zusammenhanges zur Folge haben, je ungleichmäßiger die Erwärmung derselben und je verschiedenartiger ihre Bestandteile sind Es entstehen in dem festen Gestein Risse und Spalten, die anderen Agenzien Zugang und Gelegenheit verschaffen, ihre zerstörende Tatigkeit auf das Innere des Gesteins auszudehnen.

§ 40.

Die Ausdehnung des Eises Haben sich erst durch irgendwelche Einwirkungen in einem Gestein Spalten gebildet, in denen Wasser sich ansammeln und zum Gefrieren kommen kann, so ist ein weiteres hochst wirksames Moment zur Zerstorung des festesten Gesteins gegeben Beim Gefrieren dehnen sich 100 Raumteile Wasser auf 109 Raumteile Eis aus

und dadurch wird eine immer stärkere Erweiterung der Gesteinsspalten und schließlich eine Loslösung größerer und kleinerer Bruchstücke vom Muttergestein herbeigeführt. Man bezeichnet diesen Vorgang als „*Spaltenfrost*"

§ 41.

Die mechanischen Wirkungen des bewegten Wassers und Eises sowie des Windes. Diselben sind einerseits auf die *Zertrümmerung der festen Gesteinsrinde*, anderseits auf die Fortführung der Gesteinsbruchstücke nach anderen Stellen gerichtet. Die letzteren Vorgänge bezeichnet man als *Verschwemmung*, *Transport* und *Verwehung*. Wir betrachten zunächst die *zerstörende* Tätigkeit der drei Faktoren

Zertrümmerung. Daß dem unablässig fallenden Tropfen auch das härteste Gestein nicht widersteht, ist eine viel beobachtete und schon in alten Zeiten sprichwörtlich verwertete Erscheinung Die dadurch hervorgerufenen napfartigen Aushohlungen können sich unter dem Stoß größerer fallender Wassermassen zu tiefen Löchern und Höhlen erweitern, desgleichen nagt sich das fließende Wasser allmählich in den unterlagernden Fels hinein, Löcher, Rinnen und schließlich Täler hervorbringend, die um so tiefer werden, je großer die Wassermasse, je stärker ihr Gefälle je weicher das angegriffene Gesteinsmaterial ist. Die Rinnenbildung gibt dem hindurchströmenden Wasser Gelegenheit, seine „erodierenden" Wirkungen auf die Ufer des Rinnsals auszudehnen, das anstoßende Gestein zu unterwühlen, sein Nachstürzen und seine Zertrümmerung zu veranlassen.

Eine ähnliche Wirkung übt das durch Ebbe und Flut und durch Wind bewegte *Meereswasser* auf die küstenbildenden Gebirgsarten aus. Sie wird um so eingreifender sein, je hoher der Wellenschlag (man hat Wellen von 18 m Höhe beobachtet), je steiler das Ufer, je weicher und zerklüfteter das Küstengestein ist Während man an manchen, aus besonders widerstandsfähigem Gestein bestehenden Meeresküsten in absehbarer Zeit kaum eine Veränderung wahrnimmt, ist z B für die Küste von Norfolk und Suffolk (England) ein jährliches Abnagen von 1 m und mehr landeinwärts festgestellt worden. Ungleichmäßige Beschaffenheit des Gesteins, namentlich Wechsel zwischen leichter und schwerer angreifbaren Gesteinsteilen begünstigt die Zerstörung. Durch Erosion der weicheren Partien werden die widerstandsfähigeren in Form von Platten, Säulen, Nadeln bloßgelegt und unterliegen dann leichter dem nagenden Einfluß des Wassers (Küste von Helgoland) [1])

Wesentlich verstärkt wird die zerstörende Wirkung des bewegten Wassers durch die losgelösten Gesteinsbruchstücke, Schutt, Geröll, Kies,

[1]) Helgoland, dessen Größe jetzt etwa 1/100 Quadratmeile beträgt, soll vor etwa 1000 Jahren noch 1½ Quadratmeilen groß gewesen sein.

und Sand, die, vom Wasser fortgerissen, mit kräftigem Stoß auf das anstehende Gestein aufprallen oder dieses durch Reibung allmählich zerschleifen [1]). Steinen, die durch fließendes Wasser in wirbelnder Bewegung gehalten werden, ist auch die Entstehung jener eigentümlichen, oft in das härteste Gestein eingebohrten Hohlungen zuzuschreiben, die man als „Riesentöpfe“ („Gletschertöpfe“, „Gletschermühlen“) zu bezeichnen pflegt.

Als ein nicht minder gewaltiges Werkzeug zur Zerstörung der Gesteinsmassen ist das Wasser im festen Zustande, das *Eis*, anzusehen. Die vom Wasser gegen den Felsen getragene Eisscholle höhlt diesen in gleicher Weise wie das vom Wasser getriebene Felsstück durch Stoß und Reibung. Weit mächtiger aber ist die Wirkung der großen Eisströme, die von den Kuppen unserer hochsten Gebirge unter dem Druck des sich immer erneuernden Firnschnees und Firneises [2]) unablässig den Tälern der Tiefe zu sich fortschieben und in ihrem Laufe Unterlage wie Ufer ritzen, zerschleifen und zerbröckeln. Diese Eisströme sind die *Gletscher*

Endlich ist auch dem *Winde* ein bisweilen nicht unerheblicher Einfluß auf die Zernagung festen Gesteins zuzuerkennen. Wie es der Technik gelingt, mittels feinen Sandes, der durch einen kräftigen Luftstrom gegen Glasplatten getrieben wird („Sandgebläse“), in diese die mannigfaltigsten Figuren hinein zu „nagen“, so wirken die vom heftigen Winde — er kann bis 28 m in der Sekunde zurücklegen — bewegten Sand- und Staubteilchen zerreibend zunächst auf die weicheren Teile eines Gesteins ein, zerstören so seinen Zusammenhang und fuhren Zerklüftungen und Abstürze herbei.

Bisher war nur die Rede von der *zerstorenden* Wirkung, die bewegtes Wasser, Eis und Wind auf das anstehende, d. h. noch einen zugehörigen Teil der festen Erdrinde bildende Gestein ausüben. Weit eingreifendere Veränderungen erleiden aber die vom Wasser und Eis mitgeführten Gesteinstrümmer. Je starker das Gefälle des Wasserlaufes, um so mehr zerreiben sich die fortgerissenen Bruchstucke gegenseitig und an den Wänden des Flußbettes zu immer kleinerem Geröll und schließlich zu feinem Schlamm.

Auch die Gletscher nehmen bei ihrem Vorrucken zahlreiche Gesteins-

[1]) Auffallige Beispiele für die aushöhlende Gewalt des mit Steinschutt beladenen Wassers bieten die steilen, engen Taler Thuringens (Annatal, Drachenschlucht), der Sachsischen Schweiz, die „Klammen“ der Bayrischen und Österreichischen Alpen, ferner die Schluchten des Koloradoflusses in den nordamerikanischen Staaten Utah und Arizona. Hier hat der Fluß durch die Sedimentarformationen hindurch bis in den harten Gneis sich eine 1000—1800 m tiefe Furche („Cañon“ oder „Coulée“) mit zahlreichen Nebenschluchten eingeschnitten

[2]) *Firn* oder *Firnschnee* nennt man die aus den Flocken des Hochschnees durch Verschmelzung und nachfolgendes Zusammenfrieren entstandene, von zahlreichen Luftbläschen durchsetzte kornige Masse. Durch den Druck der oberen Firnmassen auf die darunter liegenden verdichten sich diese zu *Firneis* und schließlich zu *Gletschereis*.

trümmer, nicht selten mächtige Blöcke mit sich, die entweder durch den Druck des Eises von der unebenen Gletschersohle losgelöst werden, oder, von den den Gletscher seitlich begrenzenden Felsmassen durch Spaltenfrost (s. o.) abgetrennt, auf den Gletscherrand stürzen und die *Seitenmoränen* [1]) des Gletschers bilden. Geraten diese, zunächst scharfkantigen Schuttgesteine durch die bei verschiedenen Veranlassungen sich bildenden Gletscherspalten auf die Sohle des Gletschers oder zwischen diesen und seine felsigen Ufer, so werden sie allmählich zermalmt, in abgerundetes Geröll und in einen feinen Schlamm umgewandelt und von den aus dem Gletscher austretenden Schmelzwassern weiter fortgeführt. (Weiteres darüber s. u.)

§ 42.

Verschwemmung, Transport, Verwehung. Die aus dem Gebirge in die Ebene eintretenden *Wasserläufe* verlieren allmählich immer mehr an Stromgeschwindigkeit und damit an Stoß- und Tragkraft für die mitgeführten Gesteinstrümmer. Je größer die letzteren sind, um so früher lagern sie sich ab, die Talsohle erhöhend, so lange, bis der Wasserlauf im alten Bette nicht mehr Platz findet, zudem aufgestaut durch selbstgeschaffene Gesteinsbarren, über seine natürlichen Ufer tritt und die angrenzenden Flächen mit Geröll, Kies und Sand überschüttet. Je *feiner* die im Wasser schwebenden Gesteinsreste sind, und je geringer ihr *spezifisches Gewicht*, um so länger werden sie im Wasser „schwebend" („suspendiert") erhalten, um so weiter können sie von ihrer Ursprungsstätte fortgetragen werden, bis auch sie infolge der sich mehr und mehr verlangsamenden Stromgeschwindigkeit im Flußgebiete selbst oder in den den Fluß aufnehmenden Seen und Meeren zum Absatz gelangen. Den bei der Verschwemmung hauptsächlich in Betracht kommenden Gesteinselementen kommt etwa folgendes *spezifisches Gewicht* zu.

Eisenkies	Augit Olivin Epidot Hornblende	Apatit	Glimmer Chlorit Magnesit Dolomit	Feldspate Nephelin Serpentin Quarz Kalkspat	Zeolithe Kaolin
5—5,25	2,9—3,5	3—3,25	2,8—3,1	2,5—2,75	2,—2,25

Wenn hiernach die spezifischen Gewichte der Mineralien, abgesehen von dem Eisenkies, auch nicht in weiten Grenzen schwanken, so lassen

[1]) Als „End-" oder „Stirnmoräne" pflegt man die Schutt- und Geröllmassen zu bezeichnen, die beim Abschmelzen des Gletschers an seiner tiefsten Grenzlinie auf das darunter liegende Gestein stürzen und oft mächtige Wälle bilden. „Mittelmoräne" nennt man die bei der Vereinigung zweier Gletscherströme aus den beiden einander zugewandten Seitenmoränen sich zusammensetzende Schuttinsel; „Grundmoräne", die unter dem Gletscherstrom befindliche lose Gesteinsmasse

obige Zahlen doch darauf schließen, daß die *tonigen* Gesteinsreste sich länger im Wasser schwebend erhalten können als die aus den übrigen Mineralien und namentlich aus Quarz bestehenden *Sande*[1]). Ganz besonders aber wird die Ablagerung der ersteren erschwert durch die äußerst feine Verteilung und die damit zusammenhängenden kolloidalen Eigenschaften der Gesteinsbestandteile, insbesondere der Tonteilchen (Näheres darüber unten.) Dennoch kommen auch diese allmählich zum Absatz, wenn die Stromgeschwindigkeit durch irgendwelche Umstände, z. B. durch Gegenströmungen oder durch gehinderten Rückfluß des Wassers nach Überschwemmungen, gemindert wird. Innerhalb des Flußgebietes bilden sich dann durch die stattfindenden Ablagerungen die *Flußmarsch-* oder *Aue*böden An der Mündung der Flüsse in das Meer tritt zu der den Flußlauf zur Ruhe bringenden Wirkung der *Flut* noch der Einfluß, den die Salze des Meerwassers auf die Flockung und das Niederfallen der suspendierten Tonteilchen ausüben (§ 18). Die an der Mündung der Flüsse in die See sich ablagernden Sinkstoffe (Seeschlick S. 72), bilden dort „Barren", „Watten", *Seemarschboden*[2]) und geben unter gewissen Umständen, deren Erörterung uns hier zu weit führen würde, Veranlassung zur Entstehung von „Flußdeltas". Alle diese noch fortdauernd unter Mitwirkung der Flüsse (und des Windes, s. u.) sich bildenden Ablagerungen rechnet man zum *Alluvium* (§ 3)[3])

Ebenso wie das fließende Wasser „transportiert das Gletschereis große Steinmassen verschiedenster Art von der Höhe der Berge in die Täler hinab, teils wenig verändert als scharfkantige Bruchstücke, teils zu feinem Staub und Schlamm zermahlen (s. o.), der dann von dem Schmelzwasser aufgenommen und weiter verschwemmt wird Noch zu unserer Zeit ist diese abtragende Tätigkeit der Gletscher eine sehr bedeutende[4]), weit

[1]) Eine Folge der durch das fließende Wasser bewirkten „Entmischung" der Gemengteile eines Gesteins ist z. B. die Entstehung des Geschiebesandes aus dem Geschiebelehm (s. S. 70, Anm).

[2]) Die Schlammabsätze, die den fruchtbaren Marschboden bilden, sucht man an der Nordseeküste künstlich dadurch zu befördern, daß man durch Anlage von „Lahnungen", d. i. Fangdämmen („Schlengen"), Zäunen, Gräben dem bei der Ebbe zurückweichenden Wasser Hindernisse bereitet, seine Ablaufsgeschwindigkeit und damit seine Tragfähigkeit vermindert („Polder-" oder „Koog"anlage).

[3]) Als „Marsch" im Gegensatz zur „Geest" bezeichnet man im nordwestlichen Deutschland die äußerst fruchtbaren, völlig horizontaen Schlammablagerungen der Flüsse, die sich in größerer oder geringerer Breite am Meeresufer entlang ziehen und die Talniederungen der Flüsse ausfüllen. Die daran stoßende, meist weit über dem Spiegel der höchsten Fluten belegene, mehr oder minder wellige „Geest" besteht im wesentlichen aus Bildungen des Diluviums (s. u.), aus denen nur an einigen Stellen Gesteine älterer Formationen hervorragen

[4]) An einem Augusttag führt der aus den Firnmulden des Finsterahorns in das Haslital herabstürzende Aargletscher mehr als 280 000 kg fester Stoffe allein den Gletscherbächen zu.

gewaltiger war sie natürlich in jener als *Diluvialzeit* oder *Eiszeit* bezeichneten Bildungsperiode, da Nordeuropa und Nordamerika infolge erheblicher Temperaturerniedrigung — ob durch kosmische oder tellurische Verhältnisse herbeigeführt, ist fraglich — und demgemäß vermehrter Niederschlagsmengen zum größeren Teil von Eis bedeckt waren, das von gewissen Zentralpunkten im hohen Norden her dem tiefer liegenden Süden zudrängte und in gleicher Weise, aber in größerem Maße die gebirgzerstörenden und felsversetzenden Wirkungen ausübte, wie wir sie bei den noch heute vorhandenen Gletschern beobachten.

Die über den Gebirgen des nördlichen Skandinaviens und Finnlands angehäuften, vielleicht tausend Meter und mehr mächtigen Eismassen kamen auf ihrer geneigten Unterlage ins Gleiten und schoben sich, die vorhandenen Meerbecken ausfüllend und unter dem Druck des nachdrängenden Eises selbst beträchtliche Bodenerhebungen mit Leichtigkeit übersteigend, nach Süden fächerförmig bis in die Gegend der deutschen Mittelgebirge, im Westen bis nach Holland und England, im Südosten bis in die Flußgebiete des Schwarzen und des Kaspischen Meeres so lange vor, bis das zunehmende Abschmelzen in den wärmeren Landstrichen dem Vorrücken ein Ziel setzte. Soweit das vom vordringenden Eise berührte Gestein bereits durch den zerstörenden Einfluß der einwirkenden Naturkräfte zermürbt war, schlossen sich seine Bruchstücke als Grundmoräne (S. 78, Anmerkung) der Bewegung des Eises an. Sie gruben in die noch weiche und lockere Unterlage tiefe Furchen ein, halfen die feste Gesteinsunterlage zu flachen Buckeln abzurunden und vermochten das bereits feste Liegende sowie die seitlichen Gebirgswände auf der Oberfläche abzuschleifen und in eigentümlichen, vielfach noch jetzt deutlich erkennbaren parallelen Schrammen zu ritzen („Gletscherschliffe").

Unter dem ungeheuren Druck des vorrückenden Eises wurden die großen mitgeschleppten Gesteinsblöcke allmählich zertrümmert, die kleineren Bruchstücke zu Geröll, Kies und endlich zu feinem und feinstem Sand und Schlamm zermahlen. Am Abschmelzrande des Eises lagerte sich parallel dem Gletscherrande der gröbere Gesteinsschutt als Endmoräne oft in langgestreckten Wällen, „Steinpackungen", Blockhügeln über das Tertiär, während die kleineren Teile, die Grande und Sande, durch die Schmelzwässer weiter geführt wurden. Sie bildeten im Verein mit losgerissenen Teilen der tertiären Unterlage die sogenannten „Kames"-Landschaften, bestehend aus „fluvioglazialen" Ablagerungen geschichteten Hügeln, kurzen Landrücken und wannenförmigen Einsenkungen. Wich infolge stärkerer Abschmelzung die Randlinie des Eises nach Norden zurück, so blieb das gesamte, seiner Zeit mitgeführte Steinmaterial in Schichten bis zu 150 m und mehr Mächtigkeit und in einem Umfang von hunderten von Quadratmeilen als „*Grundmoräne*" zutage liegen. Es bildet

den „Geschiebemergel" (s. o.), der mit seinen Abkömmlingen den größten Teil Norddeutschlands bedeckt[1]).

Das Vorkommen tierischer und pflanzlicher Reste, stellenweise von Moorbildungen in verschiedenen Bodentiefen des Diluviums läßt erkennen, daß es in Nordeuropa mehrere, und zwar mindestens drei Vereisungsperioden gegeben hat. Sie waren durch „Interglazialzeiten" getrennt, während deren die vom Eise befreite Oberfläche einer auf größere Wärme angewiesenen Flora und Fauna geeignete Lebensbedingungen bot. (Vgl. die Einleitung, § 3, Anmerkung S. 5.)

Auch im südlichen Deutschland sowie in der lombardischen Ebene beobachtet man die Spuren einer ein- oder mehrmaligen, von den Alpen ausgehenden Vergletscherung der nördlich und südlich angrenzenden Landstriche[2]).

Endlich ist noch der *transportierenden Tätigkeit des Windes* zu gedenken. Ist ein Gestein erst zu Staub oder Sand zerfallen, so unterliegen die feinen Körner, falls sie nicht durch natürliche oder künstliche Mittel festgelegt werden, in erheblichem Maße der Wirkung des Windes. Der Sand der Sahara wird durch heftige Südwinde über das Meer hinweg bis in das südliche Frankreich getragen, der *Löß* (s. o.) scheint in manchen Gegenden hauptsächlich der Tätigkeit des Windes seine Ablagerung zu verdanken, und mit Sicherheit wissen wir dies von einer noch fortwährend unter unseren Augen entstehenden Bildung, den *Dünen*. Wo der Meeresstrand aus feinem Sand besteht, oder der sandige Meeresgrund durch die Ebbe trocken gelegt wird, führt der Seewind das leichtbewegliche Material landeinwärts und türmt es zu Hügeln und langgestreckten Wällen von oft sehr bedeutender Höhe (bis 200 m und darüber) auf, deren äußere, dem Meere zugewandte Böschung flach ist, deren Landseite meist ziemlich starkes Einfallen und nicht selten Schichtung zeigt. Stellen sich nicht natürliche Hindernisse entgegen oder wird nicht die Düne durch künstliche Maßnahmen, namentlich durch Bepflanzen mit anspruchslosen und widerstandsfähigen Gewächsen (z. B. Strandhafer, Elymus arenarius) und nachfolgende Aufforstung[3]) befestigt, so wandert sie unter dem Druck des

[1]) Die in den obigen Ausführungen kurz dargelegte Anschauung von der Bildung des Diluviums, die sogenannte „Glazial"-Theorie, ist zuerst von dem schwedischen Geologen Torell begründet worden und jetzt allgemein anerkannt. Sie trat an die Stelle der vorher herrschenden „Trift"- oder Drift-Theorie, die einen Transport der nordischen Gesteine auf schwimmendem Eise (durch „Trift") annahm.

[2]) Gleiche Vorgänge wie in Nordeuropa haben sich in noch weit größerem Umfang ausgehend von Kanada im nördlichen Amerika vollzogen. Das amerikanische Vereisungsgebiet dürfte dreimal so groß sein als das europäische. Übrigens scheinen auch ältere geologische Epochen ihre Eiszeiten gehabt zu haben.

[3]) Große derartige „Dämpfungs"-Arbeiten werden u. a. seitens der preußischen Staatsforstverwaltung an den Wanderdünen der Kurischen Nehrung ausgeführt.

Windes, der den Sand an der Windseite in die Höhe treibt, ihn an der Landseite herabfallen läßt, meilenweit in das Land hinein, Kulturland und Häuser verschüttend und Flüsse aus ihrem Lauf verdrängend.

Auch im Binnenlande, häufig Flußläufe begleitend, finden sich nicht selten *Sandwehen* und ganze Dünenzüge, deren Material entweder den Ablagerungen des Flusses oder auch diluvialen Sanden entstammt [1])

Die durch den Wind veranlaßten Bodenbildungen werden „äolische" Bildungen genannt.

B. Chemische Vorgänge bei der Bodenbildung.

Den Wirkungen der zuletzt in ihrer Tätigkeit geschilderten mechanischen Kräfte auf die Umwandlung der starren Erdrinde wird vielfach durch gewisse Vorgänge vorgearbeitet, die chemischen Kräften entspringen.

§ 43.

Verwitterung. Keines der die Erdkruste bildenden Gesteine widersteht auf die Dauer dem chemischen Angriff gewisser Stoffe, die in unerschöpflichen Mengen in der den Erdkörper umspülenden Atmosphäre vorhanden sind, dem *Sauerstoff*, der *Kohlensäure* [2]) und dem *Wasser* Langsam, solange die Gesteinsoberfläche noch glatt und unverletzt ist, schneller, sobald erst feine und sich immer mehr erweiternde Risse und Spalten den Zugang zum Innern verstatten, bewirken diese Agenzien eine chemische Umsetzung der Mineralbestandteile und führen dadurch die Zerstörung der ursprünglichen Gesteinsmasse herbei [3]). Diese Vorgänge, an denen sich alle drei Faktoren fast immer gleichzeitig oder in schneller

[1]) Die Wirkungen des Windes auf die Bodenbildung und die Veränderungen, die der Boden im Lauf der Zeit erleidet, sind überhaupt weit bedeutsamer, als man gewöhnlich annimmt. Jede durch den Wind veranlaßte Staubwolke entführt einer Bodenstelle die zu Mehl zerfallenen Bestandteile und führt sie einer anderen im Windschutz liegenden zu. Die so transportierten Staubmengen sind natürlich besonders groß in trocknen Klimaten. Der Transport erfolgt stellenweise auf fast unglaubliche Entfernungen. So werden selbst Sandkörner aus der südalgerischen Wüste bis nach den dänischen Inseln fortgeführt und die im Jahre 1880 in Europa beobachteten auffälligen Dämmerungserscheinungen schrieb man dem in der Luft verbreiteten, von einem gewaltigen Ausbruch des Krakataua in Japan herrührenden vulkanischen Staub zu.

[2]) Unter „Kohlensäure" wird hier und im folgenden entweder das Kohlendioxyd (CO_2) oder die wirkliche Kohlensäure (H_2CO_3) verstanden (§ 19)

[3]) Auf die Verwitterung ist auch das Klima insofern von Einfluß, als höhere Temperaturen, starke Niederschläge, üppiger Pflanzenwuchs (s. u.) die chemischen Zersetzungsvorgänge befördern. So pflegen die „*Lateritboden*" *der Tropenländer* stark eisenhaltige, aus Granit, Gneis, Syenit und anderen Gesteinen hervorgegangene poröse Lehmböden, infolge der energischen Verwitterung jener harten Gesteine sehr tiefgründig zu sein.

Aufeinanderfolge beteiligen, nennt man „Verwitterung im engeren Sinne“ oder: ***Einfache Verwitterung.***

Zum Verständnis der Wirkungen, die die Atmosphärilien Wasser, Sauerstoff, Kohlensäure auf das Gestein der festen Erdrinde ausuben. sowie zur Erklärung der Vorgange der komplizierten Verwitterung (s u) muß man sich zwei Tatsachen vor Augen halten.

1. Kein Gestein ist absolut undurchlassig fur Wasser und die darin gelösten Stoffe, weil auch die scheinbar ganz dichten Gesteine von zahlreichen feinen Querspalten durchsetzt sind.

2. Wenn auch die Löslichkeit der verschiedenen Gesteinsbestandteile sehr verschieden groß ist, so ist doch keine von ihnen durchaus unlöslich in Wasser Die losende Wirkung des Wassers wird haufig verstärkt durch die in ihm gelosten luftformigen oder festen Stoffe

§ 44.

Der *Sauerstoff* hat, ganz im Gegensatz zu dem anderen Hauptbestand teile der Atmosphäre, dem Stickstoff, ein hervorragendes Bestreben, mit anderen Elementen sich zu vereinigen, sie zu *oxydieren.* Seine Verwandtschaftsäußerungen sind besonders energisch, wenn er sich in dem „erregten“ Zustand befindet, in dem man ihn als „aktiven Sauerstoff“ oder als *Ozon* bezeichnet. In diesen Zustand geht er unter der Einwirkung des elektrischen Funkens und ferner in Beruhrung mit Stoffen über, die in langsamer Oxydation oder Verbrennung begriffen sind. Infolgedessen enthält die atmospharische Luft fast immer größere oder kleinere Mengen von Ozon Bei Gesteinen, die *Eisen* in niedrigen Oxydationsstufen, als Ferrooxyd oder Ferroferrioxyd (Magneteisen, S 50), enthalten, äußert sich die Wirksamkeit des Sauerstoffs in der Weise, daß die Ferroverbindungen zu Ferriverbindungen oxydiert werden Äußerlich macht sich dieser Vorgang meist durch Übergang der schwarzen, blauen oder grunen Farbe in rot oder gelb bemerklich [1]). Zugleich aber wird dadurch der innere Zusammenhang zwischen den Mineralelementen zerstort und ein Zerfall der Mineralien und der Gesteine *herbeigefuhrt.* Eine Oxydation erleidet auch der in manchen Gesteinen vorhandene Eisenkies (FeS_2, S 49) Die dabei entstehende freie *Schwefelsaure,* eine der stärksten bekannten Säuren, wirkt auf die mit ihr in Beruhrung kommenden Karbonate und Silikate sehr energisch zersetzend ein, indem sie die kieselsauren Salze unter Abscheidung von Kieselsaure, die kohlensauren unter Austreibung von Kohlendioxyd in Sulfate (z B. in Gips) umwandelt, die vom Wasser meist leichter

[1]) Eine derartige Oxydation beobachtet man z B. oft an frisch ausgegrabenem, blauem oder grauem Ziegelton, der schon bei langerem Liegen an der Luft und mehr noch beim Brennen eine gelbe oder rote Farbe annimmt.

gelost werden als die ursprünglichen Verbindungen. Enthält ein Gestein Beimengungen organischer Natur, wie z. B der Ortstein (S. 64), so werden diese durch den Sauerstoff unter Überfuhrung ihres Kohlenstoffs in Kohlendioxyd, ihres Wasserstoffs in Wasser zerstort und dadurch der Gesteinszusammenhang gelockert. Ortstein zerfällt bei langerem Liegen an der Luft zu einzelnen Sandpartikeln [1]). Weiteres uber die zersetzenden Wirkungen, die der Sauerstoff auf organische Stoffe und deren Abkommlinge ausübt, werden die Erorterungen uber die „vegetativen Vorgänge" bei der Bodenbildung bringen (s. u.).

§ 45.

Das *Wasser* wirkt schon im reinen Zustande losend und meist auch zersetzend auf die bodenbildenden Gesteine ein, in weit höherem Grade aber in Gemeinschaft mit Sauerstoff und *Kohlensaure*, die das natürliche Wasser in nicht unbeträchtlichen Mengen gelost enthalt. Bei gewohnlicher Temperatur und gewohnlichem Druck konnen 100 Maßteile Wasser ungefähr 3 Maßteile Sauerstoff und 100 Maßteile Kohlendioxyd aufnehmen

§ 46.

Sehr einfach verlauft unter der Einwirkung kohlensaurehaltigen Wassers die *Verwitterung der Karbonate* (§§ 19 und 38, 4). 10 000 Teile mit Kohlensäure gesattigten Wassers konnen in Losung bringen:

Calciumkarbonat ($CaCO_3$)	Magnesiumkarbonat ($MgCO_3$)	Dolomit ($CaCO_3$, $MgCO_3$)	Ferrokarbonat ($FeCO_3$)
10	13	3	7 Teile.

Wirkt mithin kohlensäurehaltiges Wasser auf Gesteine ein, welche ganz oder zum Teil aus Karbonaten bestehen, so konenn diese allmahlich gelost und von ihrer ursprünglichen Lagerstatte ganz fortgeführt werden, wahrend etwaige Nebenbestandteile, wie Quarz, Sand, Silikate, Ton, Eisenoxyd, meist in gelockertem Zusammenhange und gewohnlich dunkler gefarbt zurückbleiben. Die Auslaugung des Calciumkarbonates aus kalkhaltigen Boden durch das Tagwasser erfolgt schichtenweise in der Art, daß die untere Schicht erst dann an die Reihe kommt, wenn die obere vollig von Kalk befreit ist Daher findet sich haufig z B eine ganz kalkarme Geschiebelehmschicht unmittelbar auf kalkhaltigem, ja bisweilen durch den Oberflächenkalk noch uber den ursprunglichen Gehalt hinaus angereicherten Geschiebemergel aufgelagert Auf *Dolomit* (S 67) wirkt das kohlen-

[1]) Nach Emeis kann ein Zerfall dieser eigentumlichen Gesteinsbildung, falls es sich um wirklichen Ortstein, d. h. durch humose Stoffe und nicht durch Eisenverbindungen verkitteten Sand handelt, schon durch eine grundliche Entwasserung der ortsteinfuhrenden Bodenschichten herbeigefuhrt werden.

säurehaltige Wasser in der Weise zersetzend ein, daß es zunächst vornehmlich Calciumkarbonat entführt, also eine Masse zurückläßt, die an Magnesiumkarbonat reicher ist Die vom Wasser aufgelösten und fortgeschwemmten Karbonate gelangen unter geeigneten Verhältnissen an anderen Stellen wieder zum Absatz, wobei das Ferrokarbonat allermeist in Ferrioxyd und Ferrihydroxyd umgewandelt wird

§ 47.

Verwitterung der Sulfate. Das an der Bodenbildung vornehmlich beteiligte *Sulfat,* das Calciumsulfat (Gips, Anhydrit; S. 47), wird gleichfalls durch Wasser in Lösung gebracht (ein Gehalt des Wassers an Kohlensäure scheint die Löslichkeit nicht zu erhöhen), und zwar können 10 000 Teile Wasser ungefahr 25 Teile Calciumsulfat aufnehmen [1]). Unter dem Einfluß organischer Stoffe erleiden die Sulfate eine Reduktion und gehen schließlich in Karbonate über (§ 24)

§ 48.

Verwitterung der Phosphate und der Kieselerdemineralien. Auch die in vielen Gesteinen vorkommenden *Phosphate* werden durch kohlensäurehaltiges Wasser gelöst Die Löslichkeit ist bei den verschiedenen Phosphaten sehr verschieden, jedoch soweit es sich um normale Salze handet, stets sehr gering Noch schwerer loslich scheinen der *Quarz* und die ubrigen *Kieselerdemineralien* zu sein; in weit großeren Mengen löst sich Kieselerde in kohlensaurem Wasser in dem Augenblick, wo sie aus sich zersetzenden Silikaten abgeschieden wird

§ 49.

Die Verwitterung der kieselsauren Salze unter dem Einfluß von Kohlensaure und Wasser verläuft sehr verschieden, je nach der physikalischen Beschaffenheit (Struktur) und chemischen Zusammensetzung des Minerals und je nach dem vorhandenen Vorrat an den genannten Lösungsmitteln Je weniger Hindernisse die Struktur eines Minerals dem Eindringen der lösenden Agenzien in den Weg stellt, je mehr Angriffspunkte die letzteren finden, um so energischer werden sie im allgemeinen ihr Zerstorungswerk vollbringen Ihm wird wesentlich vorgearbeitet, wenn das Mineral Ferrooxyd enthalt, das unter dem Einfluß des Sauerstoffs höher oxydiert wird und dadurch den Zusammenhang der Mineralelemente lockert

[1]) Der ganze Gebirgszuge, Hugelreihen, Bergkuppen bildende Gips tritt auch vielfach als Einlagerung in andere Gesteine auf. Aus solchen Lagerstatten nimmt die Lorenzquelle zu Leucken und im Schweizer Kanton Wallis jahrlich 4 Millionen Kilogramm, entsprechend etwa 2300 cbm feste Gipsmasse, auf. Durch die auslaugende Tatigkeit des Wassers bilden sich nicht selten im Gesteinsinnern große Hohlungen („Gipsschlotten"), z. B in der Mansfelder Zechsteinformation.

Von den in den Silikaten enthaltenen *Metallen* unterliegt im allgemeinen am leichtesten das Calcium und das Eisen der Ferroverbindungen dem Angriff der Kohlensäure, es folgt das Natrium, dann erst das Kalium und das Magnesium (letzteres ist meist noch schwerer angreifbar als das Kalium). Sie werden durch die Kohlensäure in Karbonate übergeführt und, in Wasser gelöst, dem Mineral entzogen. An ihre Stelle tritt häufig etwas Wasser in das Silikat ein. Beim Übergang eines wasserfreien in ein wasserhaltiges Silikat, wie er z. B. — s. § 18 — bei Umwandlung von Olivin in Serpentin, von Augit und Hornblende in Chlorit, von Feldspat in Zeolith sich vollzieht, findet eine Ausdehnung statt. Auch hierbei wird ebenso wie beim Spaltenfrost (S. 76) die Zersprengung des Gesteins, seine Umwandlung in Boden gefördert. Die entstandenen Karbonate können ferner lösend auf die Kieselsäure einwirken und einen Teil davon mitführen. Aluminium und das Eisen der Ferriverbindungen werden von der Kohlensäure gar nicht angegriffen und bleiben als wasserhaltiges Eisen- und Aluminiumsilikat zurück. Auf diese Weise kann sich z. B. der *Orthoklas* (Kalifeldspat) allmählich in *Kaolin* umwandeln, ein Vorgang, der sich durch folgende schematische Darstellung veranschaulichen läßt (Credner):

	Kali		Tonerde		Kieselerde		Wasser
In 100 Orthoklas $[K_2Al_2(Si_3O_8)_2]$	$= K_2O$	+	Al_2O_3	+	$6\ SiO_2$		
sind enthalten	16,9		18,5		64,6		0
Es treten aus (—), ein (+)	— 16,9		0	—	43,1	+	6,5
Es bleiben			18,5	+	21,5	+	6,5
= 46,5 Kaolin $[H_2Al_2(SiO_4)_2 + H_2O]$ =			Al_2O_3	+	$2\ SiO_2$	+	$2\ H_2O$.

Der in der Natur vorkommende Kaolin enthält immer noch Alkalien. Es geht also in Wirklichkeit die Zersetzung nie so vollständig vor sich, wie es nach obiger Darstellung scheinen möchte, und dasselbe gilt für die Verwitterung der übrigen Silikate und namentlich der an Magnesium reichen. So verwittert der *Olivin* [1]) infolge der meist vorhandenen feinen Sprünge und Spalten zuerst leicht, indem das stets darin enthaltene Eisenoxydul in Eisenoxyd übergeführt wird. Der an Magnesium reiche Rest aber wandelt sich unter Wasseraufnahme in ein schwer verwitterbares Magnesiumsilikat, meist in *Serpentin* um. Aus *Augit* und *Hornblende* treten leicht Calcium, Eisenoxydul und die etwa vorhandenen Alkalien als Karbonate aus, zurück aber bleiben an Magnesium reiche, schwer zersetzliche Silikate: Serpentin, Talk, Chlorit oder, wenn die Muttermineralien Aluminium enthielten, Magnesiaglimmer. Erst bei weiterem Fortschreiten der Verwitterung wird auch das Magnesium in Karbonat übergeführt, und es bleiben dann von den aluminiumhaltigen Mineralien *eisenhaltige Tone*

[1]) Vgl. die Übersicht über die Zusammensetzung der wichtigsten Silikate (S. 36, 37).

als Endprodukt zurück. Wenn nach dem oben Gesagten im allgemeinen die an Calcium und Eisenoxydul reichen Silikate schneller als die an Natrium reichen, und diese schneller als die an Kalium und namentlich an Magnesium reichen der Verwitterung unterliegen, so wirken hierauf doch noch andere Umstände fördernd ein, unter deren Einfluß jene Gesetzmäßigkeiten beeinträchtigt werden. Im Einklang mit den letzteren steht es, wenn die an Natrium und Calcium reichen *Plagioklase* schneller zu verwittern pflegen als der *Kalifeldspat*, daß die *Augite* sich schneller zersetzen als die an Aluminium und Magnesium reicheren, an Calcium ärmeren *Hornblenden*. Dagegen ist der an Kali reiche *Muscovit* (Kaliglimmer) fast unverwitterbar, während die Zersetzung des *Magnesiaglimmers* trotz seines hohen Magnesiumgehaltes verhältnismäßig leicht erfolgt. Diese und andere Tatsachen lassen vermuten, daß auch das Verhältnis zwischen Kieselsäure und Metall innerhalb der Silikate von Einfluß auf deren Zersetzlichkeit ist. Diese scheint sich mit Zunahme des Kieselsäuregehaltes zu verringern. (Vgl. auch die früheren Mitteilungen über das chemische Verhalten der Silikate, § 18.)

§ 50.

Die komplizierte Verwitterung. Während die als „einfache Verwitterung" bezeichneten Veränderungen des Gesteins unmittelbar durch die Atmosphärilien veranlaßt werden, umfaßt die „komplizierte Verwitterung" die äußerst mannigfaltigen Wirkungen, welche die Erzeugnisse der einfachen Verwitterung aufeinander und auf die ursprünglichen oder bereits mehr oder weniger zersetzten Gesteinsbestandteile hervorbringen. Bei der einfachen Verwitterung entstehen zahlreiche, in Wasser mehr oder weniger lösliche Salze des Kaliums, Natriums, Calciums, Magnesiums, Eisenoxyduls sowie auch freie Kieselsäure, Verbindungen, die zu den verschiedensten chemischen Umsetzungen Veranlassung geben können. Die durch sie herbeigeführten Vorgänge faßt man unter dem Namen „komplizierte Verwitterung" zusammen.

Wie bereits früher erörtert wurde (S. 43, Anm.), findet bei der Berührung zweier chemisch aufeinander einwirkenden Körper folgendes statt. Falls durch Vereinigung des einen mit dem andern, oder eines Bestandteils des einen mit einem Bestandteil des anderen Körpers eine Verbindung entstehen kann, die von den vorhandenen Agenzien nicht mehr chemisch beeinflußt wird, so wird diese in einer Menge gebildet, die den vorhandenen aufeinander wirkenden Mengen der Bestandteile entspricht (die Umsetzung ist eine vollständige). Bleiben jedoch die möglichen Umsetzungsprodukte der chemischen Einwirkung der anwesenden Agenzien zugänglich, so ist die Umsetzung nur eine beschränkte und in ihrer Größe abhängig von der Größe der chemischen Anziehungskraft, die die einzelnen Bestandteile

aufeinander ausuben, und von den Mengen, in denen sie vorhanden sind Dieses Gesetz gilt nicht nur fur gelöste Stoffe, sondern auch dann, wenn ein geloster mit einem festen Stoff in Berührung kommt, der seiner chemischen Einwirkung zugänglich ist. Da also die chemische Wirkung eines Stoffes nicht bloß von seiner chemischen Anziehungskraft, sondern zugleich auch von der Masse abhängig ist, mit der er in die Reaktion eintritt, so kann ein Element von schwächerem Vereinigungsbestreben unter Austreiben eines Elementes von stärkerer Energie sich an dessen Stelle setzen, wenn es nur in genügender Menge auftritt

§ 51.

Beispiele fur die komplizierte Verwitterung. Obwohl das Calcium eine weit schwächere Verwandtschaft zu den Sauren hat als das Kalium, kann es, in ausreichender Menge (als gelostes saures Calciumkarbonat) zugefuhrt, in Kaliumsilikaten an die Stelle des Kaliums treten So verwandelt sich unter Umständen der an Kalium reiche, Calcium nicht enthaltende *Orthoklas* in den an Calcium reichen, kaliumfreien *Epidot*, wobei zugleich Aluminium durch Eisen ersetzt wird So kann ferner, je nach dem Mengenverhaltnis der aufeinander chemisch einwirkenden Stoffe, die *Hornblende* $CaMg(SiO_3)_2$ in den an Calcium reichen *Epidot* oder in den an Magnesium reichen *Chlorit* übergehen. Im ersteren Fall tritt an die Stelle des Magnesiums Calcium, im anderen an die Stelle des Calciums in der Hornblende Magnesium. Es liegt auf der Hand, daß bei diesem Verhalten der chemisch aufeinander einwirkenden Mineralbestandteile die mannigfaltigsten Umwandlungen eintreten konnen. Durch die komplizierte Verwitterung werden auch diejenigen Bestandteile der Silikate, die der einfachen Verwitterung am längsten widerstehen (s o.), die Tonerde Al_2O_3 und das Ferrioxyd Fe_2O_3 angegriffen und in Bewegung gebracht, indem sie sich in den Losungen von Karbonaten, Sulfaten, Chloriden auflosen, wobei Kieselerde als Quarz oder Opal abgesetzt wird

Ein wichtiges Produkt der komplizierten Verwitterung sind die *Zeolithe* Sie konnen sich aus wasserfreien Silikaten durch Ersatz von Kalium durch Natrium und Aufnahme von Wasser bilden. So entsteht bei Einwirkung von Natriumkarbonat- oder Natriumchloridlösung auf *Leucit* $K_2Al_2(SiO_3)_4$ der zur Zeolithgruppe gehörige *Analcim* $Na_2Al_2(SiO_3)_4 + 2\,H_2O$ unter gleichzeitiger Bildung von Kaliumchlorid KCl oder Kaliumkarbonat K_2CO_3 Ferner entstehen Zeolithe durch Einwirkung der Lösung von Natrium- oder Calciumsalzen auf Ton oder auf Losungen von Kieselsäure und Tonerde Da sie neben Aluminium fast immer nur Natrium und Calcium, aber fast nie Kalium und Magnesium enthalten, so bilden sie sich fast nur in den aus Calcium-Natrium-Silikaten bestehenden, hochst selten in kalium- oder magnesiumreichen Gesteinen Übrigens läßt sich, wie wir später

sehen werden, durch Einwirkung von Kaliumsalzen das Natrium und das Calcium der Zeolithe sehr leicht durch Kalium und andere Stoffe ersetzen, wobei sie eigentümlicherweise ihr Wasser verlieren

C. Umwandlung der Gesteine in Boden unter dem Einfluß der mechanisch und chemisch wirkenden Kräfte.

Fur die Schnelligkeit, mit der unter dem Einfluß der oben geschilderten Krafte aus den Gesteinen der festen Erdrinde Boden gebildet wird, und für die Beschaffenheit des letzteren sind im wesentlichen als Faktoren maßgebend. a) die Beschaffenheit der gesteinbildenden Mineralien und b) die einwirkenden Wassermengen.

§ 52.

Einfluß der Beschaffenheit der gesteinbildenden Mineralien auf die Umwandlung. 1 *Die Oberflächengestaltung des verwitternden Gesteins.* Ist diese eben oder gar muldenförmig, so werden nur die durch den Verwitterungsprozeß loslich gewordenen Stoffe durch das Wasser fortgeführt, auf geneigten oder abschussigen Flachen tritt dagegen zugleich auch die mechanische, auch ungeloste Stoffe verschwemmende Kraft des Wassers in Wirkung *Granit* mit ebener oder muldenformiger Oberflache hinterläßt bei seiner Verwitterung einen [illegible] *Lehmboden*, auf stark abfallenden Flachen wird Ton und Glimmer fortgeschwemmt, und es bleibt tonarmer *Sandboden* zuruck

2 *Die Struktur des verwitternden Gesteins* Je leichteren Zutritt ein Gestein den Verwitterungsagenzien Wasser, Sauerstoff, Kohlensaure gewahrt, um so energischer konnen diese bodenbildend einwirken *Geschichtete* und *schiefrige* Gesteine werden fast immer schneller der Verwitterung unterliegen als *kompakte* Gneis schneller als Granit, die Floz- oder Sedimentargesteine ganz allgemein schneller als die kristallinischen Massengesteine Sind die geschichteten Gesteine durch irgendwelche im Erdinnern wirkenden Krafte *aufgerichtet* worden, so wird dadurch das Eindringen des Wassers mit seinen zerstorenden Agenzien, die sprengende Wirkung des Eises und damit der Zerfall erheblich beschleunigt. In gleicher Richtung wirkt die eigentumliche regelmaßige *kugelige oder säulenformige Absonderung*, die manche Gesteine, z B viele *Basalte*, aufweisen. Eine *dichte* Gesteinsstruktur, die mit einer feinen und gleichmaßigen Verteilung der Gemengteile verbunden ist (z B bei vielen *Porphyr*-Arten), verlangsamt, eine mehr *grobkornige* oder *grobkristallinische* Struktur beschleunigt im allgemeinen die Verwitterungsvorgänge Denn die letztere ruft durch die verschiedenartige Ausdehnung der gesteinbildenden Mineralien die Bildung zahlreicher Risse und Abspaltungen hervor, die die

Verwitterung in das Gesteinsinnere tragen. So zerfällt der grobkornige, große Quarz- und Feldspatkristalle enthaltende *Granit* verhältnismaßig leicht zu einem aus größeren und kleineren Trummern bestehenden Grus, der bei weiterer Zersetzung einen tiefgrundigen Boden liefert, während aus feinkörnigen Graniten und aus *Porphyren* mit sehr dichter Grundmasse („Hornsteinporphyr"), bei denen die Verwitterung nur von der Oberfläche des Gesteins ausgeht, meist flachgründige Boden entstehen

3 *Die chemische Beschaffenheit der gesteinbildenden Mineralien.* Sind die Gemengteile eines Gesteins in verschiedenem Grade der Verwitterung zuganglich, so folgt diese dem durch die Lage der leichter zerstörbaren Mineralien vorgezeichneten Weg, löst dadurch den Zusammenhang der Gesteinsmasse und fuhrt ihren Zerfall zu „Grus" herbei *Granite*, die neben dem schwer verwitternden Orthoklas leicht zerfallenden Oligoklas oder gar Labrador enthalten, unterliegen daher schneller der Umwandlung als die von Plagioklasen freien Glieder dieser Gesteinsart. Da die Hornblende schwieriger verwittert als der Augit (S 87), so liefert der aus Plagioklas und Hornblende bestehende *Diorit* (§ 36, 2) einen an feinerdiger Masse armen steinigen Boden, während der aus Plagioklas und Augit gebildete *Diabas* (§ 36, 3) ziemlich schnell zu fruchtbarem, tiefgrundigem Boden zerfällt.

Von großer Bedeutung fur die leichtere oder schwerere Verwitterung eines Gesteins ist der Gehalt an *niederen Oxydationsstufen des Eisens*, an Ferrioxyd (FeO) und Ferroferrioxyd (Fe_3O_4) Sie werden entweder durch die im Wasser gelöste Kohlensaure in Ferrokarbonat ubergeführt, das, in kohlensäurehaltigem Wasser sich losend, aus dem Gestein austritt, oder unter dem Einfluß des zutretenden Sauerstoffs oxydiert. Beide Prozesse wirken lockernd auf den Gesteinsverband Der Übergang der dunkel (grün) gefärbten Ferroverbindungen in gelbrotes Ferrioxyd oder in braunrotes Ferrihydroxyd macht sich außerlich durch den Farbenwechsel bemerkbar, der beim Übergang des unverwitterten Gesteins in Boden sich vollzieht (§ 43) Von der Oberflache nach unten hin geht die Farbe solcher Böden nicht selten von gelbrot in braunrot, in rot und grun gemengt und schließlich in das Grun des bodenbildenden Gesteins uber, eine Aufeinanderfolge von Farben, die ein Urteil uber die Tiefe zulaßt, bis zu der die Verwitterung sich erstreckt An Ferrooxyd reich sind von den plutonischen Gesteinen namentlich die „basischen", wie Basalt, Dolerit, Diabas, Melaphyr u a. Die Sedimentärgesteine, die aus ihnen durch Verwitterung und Verschwemmung hervorgegangen sind, pflegen naturgemäß an niederen Oxydationsstufen des Eisens armer zu sein, falls solche nicht nachtraglich durch Reduktionsprozesse innerhalb des neugebildeten Gesteins aus dessen Oxyden sich zuruckgebildet haben (§ 24) Am haufigsten kommen sie hier in den *Tongesteinen* vor.

Ein hoher Gehalt der Gesteine an *Calciumverbindungen*, die durch Wasser und Kohlensäure in Karbonat umgewandelt und ausgewaschen werden, wirkt gleichfalls auf ihre rasche Umbildung zu Boden hin Auch aus diesem Grunde zerfallen die kalkreichen *basischen* Urgesteine schneller als die *sauren*, und erstere liefern daher im allgemeinen einen tiefgrundigeren Boden als die letzteren Der an Calcium- und Magnesiumsilikat reiche *Basalt* wird bei der Verwitterung infolge der Bildung und Fortfuhrung von Calcium- und Magnesiumkarbonat [1]) an Calcium und Magnesium immer armer, während andere schwerer losliche Bestandteile sich anhäufen.

So fand man in hundert Teilen·

	des ursprünglichen Gesteins	der ersten Verwitterungsstufe	der zweiten Verwitterungsstufe
Kalk (CaO) . . .	**14,6**	**10,6**	**3,7**
Magnesia (MgO)	**7,3**	**7,1**	**1,3**
Tonerde (Al_2O_3) .	17,1	19,8	32,5
Eisenoxyd (Fe_2O_3)	7,7	8,4	9,2

Schneller noch findet naturlich der Zerfall des Gesteins statt, wenn darin fertiggebildete *Karbonate* enthalten sind Infolge der Auswaschung wird die Gesteinsmasse und der daraus entstehende Boden insbesondere an Calciumkarbonat immer armer, an anderen Bestandteilen reicher. Von der Entkalkung der Geschiebemergel-Boden war schon früher die Rede (S 70). Ein sehr lehrreiches Beispiel liefern auch die Untersuchungen E. v. Wolffs uber die Bodenbildung aus dolomitischem Muschelkalkstein

Es enthielt:

	das ursprüng-	die erste	die zweite
Calciumkarbonat ($CaCO_3$) . .	[illegible]		
Magnesiumkarbonat ($MgCO_3$) . .	16,6	[illegible]	
Tonerde (Al_2O_3) . .	0,8	2,6	
Kieselerde (SiO_2)	3,1	9,8	24,7
Kali (K_2O)	0,27	1,12	2,82
Phosphorsäure (P_2O_5)	0,08	0,16	0,42
Eisenoxyd (Fe_2O_3)	0,65	1,69	2,15

[1]) In einem gewissen Verwitterungsstadium weist der zu Boden zerfallende Basalt einen mehr oder weniger großen Gehalt an Karbonaten auf

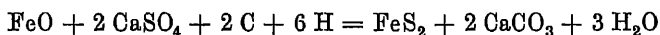
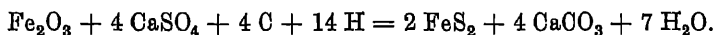
[2]) Das ursprungliche Gestein war sehr fest, die „erste Verwitterungsstufe" bereits ziemlich murbe geworden, die „zweite Verwitterungsstufe" zum Teil zu leicht zerreiblichen Gesteinsbrockeln, zum Teil zu lockerem Pulver auseinander gefallen, ohne schon den Zustand eines „Kulturbodens" erlangt zu haben.

[3]) In diesen Zahlen macht sich zugleich die großere Widerstandsfahigkeit des Magnesiumkarbonates gegenuber dem Calciumkarbonat bemerklich Erst wenn der großere Teil des Calciumkarbonates durch Auswaschung entfernt ist, unterliegt das Magnesiumkarbonat der Auflösung (§ 46)

Die Verarmung der äußersten Verwitterungsrinde der bodenbildenden Gesteine an Karbonaten kann so weit gehen, daß im Interesse der landwirtschaftlichen Kultur eine künstliche Zufuhr von Kalk oder Mergel nötig wird. Nicht selten kann das hierzu nötige Material dem tieferen Untergrund entnommen werden. So bringt man z. B. auf den Marschböden (S. 79), deren äußerst fein verteilte Karbonate der Auswaschung besonders leicht unterliegen, zum Ersatz die an Calciumkarbonat noch reiche Erde der tieferen Schichten („Kuhlerde" oder „Wuhlerde") zur Oberfläche („Kuhlen", „Wuhlen", „Überkleien"). — Auch die stellenweise über Marschboden als Untergrund aufgewachsenen Moore („Marschmoore", s. u.) sucht man vielerwärts durch Aufbringen von Marscherde aus dem Untergrund, die man mittels besonderer Hebevorrichtungen („Kuhlmaschinen") bisweilen aus sehr beträchtlicher Tiefe gewinnt, zu verbessern und insbesondere mit Kalk anzureichern. Unter dem Einfluß der vermodernden Moorpflanzen haben jedoch die unmittelbar unter dem Moor liegenden oder auch die tieferen, stark mit Pflanzenresten durchsetzten und stets Calciumsulfat, $CaSO_4$, enthaltenden Marschbodenschichten Veränderungen erlitten, die sie für den beregten Zweck völlig untauglich machen können. Aus ihren schwefelsauren Salzen und Ferro- oder Ferrioxyd ist durch Reduktion (§ 24) Zweifachschwefeleisen entstanden. Die Umsetzung läßt sich durch folgende chemische Gleichungen veranschaulichen:

$$FeO + 2\,CaSO_4 + 2\,C + 6\,H = FeS_2 + 2\,CaCO_3 + 3\,H_2O$$

oder

$$Fe_2O_3 + 4\,CaSO_4 + 4\,C + 14\,H = 2\,FeS_2 + 4\,CaCO_3 + 7\,H_2O.$$

Wird dieser an sich unschädliche Stoff an die Oberfläche gebracht, so geht er unter der Einwirkung des Luftsauerstoffs in zwei starke Pflanzengifte, nämlich in freie Schwefelsäure und Ferrosulfat (in wasserhaltigem Zustande „Eisenvitriol" genannt) über (S. 49). Solange genügende Mengen von Calciumkarbonat vorhanden sind, erfahren, wie früher (a. a. O.) erörtert wurde, jene Schädlinge eine heilsame Umwandlung, ist aber das Calciumkarbonat aus der betreffenden Bodenschicht ausgelaugt (was unter der Einwirkung der aus pflanzlichen Resten reichlich entwickelten Kohlensäure häufig der Fall ist), so lassen sie ein Pflanzenwachstum nicht mehr aufkommen. Die schwefeleisenhaltige und dabei ihres Calciumkarbonates ganz oder fast ganz beraubte Marscherde bezeichnet man im nordwestlichen Deutschland als „Gifterde", „Pulvererde", „Bettelerde" oder „Maibolt"[1]. Man schützt sich vor ihr dadurch, daß man den von den

[1]) Der Unterschied zwischen brauchbarer und der durch Reduktion und Auslaugung ungünstig veränderten Marscherde geht deutlich aus folgenden Untersuchungsergebnissen der Moorversuchsstation hervor. Es enthielten in

Kuhlmaschinen aufgehobenen Boden nur dann verwendet, wenn er beim Übergießen mit Salzsäure aufbraust (Entweichen von Kohlendioxyd.)

Infolge der starken Auswaschung, der die Karbonatmineralien unterliegen, kann es vorkommen, daß von einem ursprünglich fast ausschließlich aus Kalkstein, Magnesit, Dolomit bestehenden Gestein bloß die beigemengten schwerloslichen Mineralien wie Ton, Sand, Eisenoxyd zurückbleiben, und der Charakter des entstehenden Bodens sich ausschließlich nach dem Vorwiegen dieses oder jenes *zufälligen* Bestandteils des ursprunglichen Gesteins richtet.

§ 53.

Einfluß der bei der Verwitterung mitwirkenden Mengen von Wasser und der Art und Menge der im Wasser gelösten Stoffe. Die Salzablagerung. Bei der verschiedenen Loslichkeit der einzelnen Gesteinsbestandteile in kohlensaurehaltigem Wasser können die aus einem und demselben Gestein hervorgehenden Böden sehr verschiedenartig sein, je nachdem der Verwitterungsprozeß in Anwesenheit von viel oder wenig Wasser sich vollzieht Im ersteren Falle wird mit den leichter loslichen Bestandteilen auch ein großerer Teil der Kieselsäure in Lösung gebracht und entfernt, im anderen werden fast nur die leichter löslichen Bestandteile fortgefuhrt, und es bleibt ein an Kieselerde reicherer Boden zurück. Ebenso bewirkt ein großerer Gehalt des Wassers an Kohlensaure eine schnelle Verwitterung, bei der die in Karbonate umgewandelten Basen der Silikate rasch entfuhrt werden und die schwer lösliche Kieselerde zuruckbleibt, während bei geringerem Kohlensauregehalt die Verwitterung langsam vorschreitet, und die geringen Mengen ausgeschiedener Kieselerde zugleich mit den entstandenen Karbonaten fortgespult werden. Die Art der Salze, die das Wasser gelost enthält, ist bestimmend fur die Gesteinsumwandlungen, die man als „komplizierte" Verwitterung bezeichnet (§ 50), also auch für die Art des sich bildenden Bodens Aus reinem *Kalkstein* kann ein an Magnesiumkarbonat reicher Boden entstehen, wenn Losungen dieses Salzes auf jenen einwirken. Eine Lösung von Magnesiumkarbonat ist imstande, noch große Mengen von Calciumkarbonat aufzunehmen; beide Salze bilden

---

100 Teilen der von Wasser und von organischen Beimengungen frei gedachten Masse:

	Gute Marscherde	Maibolt
Calcium- und Magnesiumkarbonat .	8,58 Teile	2,43 Teile
Schwefeleisen . .	2,18 „	9,77 „
Ferrisulfat *)	0,00 „	1,50 „
Freie Schwefelsaure *)	0,00 „	0,45 „

* Bei längerem Liegen der Probe an der Luft aus Schwefeleisen entstanden

schwerlöslichen *Dolomit*, der sich ausscheidet, während leichtlösliches saures Calciumkarbonat vom Wasser fortgeführt und an anderen Stellen abgelagert werden kann. Kommen *eisenreiche* Gesteine, z. B Tone, mit den Lösungen von Calciumphosphat in kohlensäurehaltigem Wasser zusammen, so entsteht ein schwerlösliches Eisenphosphat, das im Boden zurückbleibt. *Kaliumreiche*, an Calciumverbindungen arme Gesteine können *calciumreiche* und kaliumarme Böden liefern, wenn sie mit großen Mengen calciumkarbonathaltigen Wassers in Berührung sind; denn Kaliumsilikat und saures Calciumkarbonat setzen sich zu leichtlöslichem Kaliumkarbonat um, während Kieselerde und normales Calciumkarbonat ausgeschieden werden. Unter Einwirkung von *kaliumkarbonat*haltigem Wasser kann in *natriumsilikat*haltigen Gesteinen das Natrium durch Kalium ersetzt, also die Bildung eines an Kalium reichen Bodens hervorgerufen werden, während das entstandene Natriumkarbonat fortgewaschen wird. Lösungen von Kalium- und Natriumsilikat können Tonerde in Lösung bringen und so die Bildung eines tonärmeren Bodens aus einem an Aluminiumsilikat reichen Gestein veranlassen Dahin gehört ferner die Bildung von Schwefeleisen bei Einwirkung von eisenkarbonathaltigem Wasser auf Gips (S. 49) Weitere Umsetzungen s § 51.

Zu den bedeutsamsten Vorgängen bei der Bodenbildung gehört die *Entstehung der Salzlager*, wie sie in verschiedenen geologischen Perioden stattgefunden hat Nach der herrschenden Vorstellung von der Bildung der Erdrinde sind die im Wasser und vornehmlich im Meereswasser gelösten Stoffe im wesentlichen [1]) ursprünglich Bestandteile der plutonischen Urgesteine gewesen. Bei der Zerstörung des Gesteinszusammenhanges durch die oben eingehend erörterten Vorgänge wurden die im Wasser besonders leichtlöslichen Mineralien vom Wasser am weitesten fortgeführt; sie sammelten sich schließlich im Meereswasser und verliehen diesem seinen salzigen Geschmack und sein hohes spezifisches Gewicht. Der Gehalt des Seewassers an festen Stoffen schwankt infolge der ungleichen Wasserverdunstung in den verschiedenen Gegenden und je nach der Größe der in das Seewasser eintretenden Süßwasser- oder Eismengen Der Salzgehalt des Atlantischen Ozeans beträgt etwa 3 6 %, der des Mittelmeeres 3,96—4,16 %, dagegen der der Ostsee nur etwa 1—2 % Im Durchschnitt bestehen die im Meerwasser gelösten Salze aus 78 % Chlor-

[1]) Ein Teil der bei sehr hoher Temperatur luftförmigen Chloride, Fluoride u. a. Verbindungen mag allerdings in der Zeit, da die Erstarrungskruste des glutflüssigen Erdballs sich bildete, neben dem damals ausschließlich in Dampfform befindlichen Wasser in der den Erdkörper umgebenen Lufthülle vorhanden gewesen sein und bei weiterer Abkühlung, ohne Gesteinsbestandteil zu werden, in dem allmählich flüssig werdenden Wasser sich gelöst haben

natrium, 9,6 % Chlormagnesium, 6,5 % Magnesiumsulfat, 3,7 % Calciumsulfat, 1,8 % Chlorkalium und 0,1 % saures Calciumkarbonat [1]).

In Binnenseen oder in abgeschnürten Meeresbuchten, welche zwar dem Zufluß, nicht aber dem Wiederabströmen von Seewasser günstig sind, kann sich das Salzwasser infolge der Verdunstung des Wassers derartig konzentrieren, daß die gelösten Stoffe zur Ausscheidung gelangen. Solche Vorgänge finden noch jetzt z. B. im Toten Meer und im Großen Salzsee von Utah in Nordamerika statt, und ihnen verdanken auch die gewaltigen, bis 1600 m mächtigen Salzablagerungen im nördlichen Deutschland während der Zechsteinperiode ihre Entstehung. Höchstwahrscheinlich haben sie sich in einem Becken gebildet, welches von der offenen See durch eine wohl das Zuströmen von Seewasser zulassende, aber das Abfließen hindernde Barre getrennt war. Aus der durch stetige Wasserverdunstung immer dichter werdenden Salzlauge schieden sich zunächst die am schwersten löslichen Bestandteile — insbesondere Calciumsulfat in Form von Anhydrit (§ 23) — aus, es folgte das Chlornatrium (Steinsalz), von dem sich infolge des stetigen Ersatzes des abdunstenden Wassers durch neues Salzwasser besonders große Massen absetzten. Die in Wasser leichter löslichen Salze kamen aus der darüber stehenden Flüssigkeit unter Bildung zahlreicher Doppelsalze (§§ 23, 27) erst dann zum Absatz, als die verdunstenden Wassermengen das hinzutretende Seewasser überwogen und der Zulauf des letzteren schließlich ganz aufhörte [2]).

Ein ähnlicher Prozeß hat zweifellos bei allen Salzablagerungen stattgefunden; wenn sich im Gegensatz zu den meisten übrigen Salzvorkommen bei den deutschen Salzlagern die besonders wertvollen, das Steinsalz überdeckenden Kalisalze ganz oder zum großen Teil auf ihrer Bildungsstätte erhalten haben, so ist dafür der glückliche Umstand verantwortlich zu machen, daß sie zu rechter Zeit von einer durch die Winde herbeigeführten lößartigen Bodenschicht überlagert worden sind, die sie vor dem Zutritt des Wassers geschützt hat.

[1]) Neben den obengenannten Salzen finden sich im Meereswasser noch in geringer Menge Verbindungen von Brom-, Jod-, Fluor- und anderen Elementen.

[2]) Diese bei der bergmännischen Gewinnung des Steinsalzes erst abzuräumenden Salze pflegt man als „Abraumsalze" zu bezeichnen. — Der oben geschilderte Vorgang ist durchaus mit den Erscheinungen zu vergleichen, die man beim Eindampfen einer Salzlösung („Salzsole") in der Salzpfanne beobachtet: zuerst Absatz und Auskristallisieren der schwerer löslichen Stoffe, während die „Mutterlauge" sich immer stärker konzentriert und ihre leichtlöslichen Bestandteile erst absetzt, wenn das Wasser ganz oder zum größten Teil verflüchtigt ist. — Übrigens finden sich in der Natur nicht selten über den „Abraumsalzen" wieder Steinsalzbildungen mit oder ohne Überlagerung von Abraumsalzen, ein Zeichen dafür, daß in späteren Zeiten ein neuer Einbruch von Meereswasser und eine Ablagerung von „jüngerem Steinsalz" erfolgt ist.

§ 54.

Die Erörterungen über die Bodenbildung lassen klar erkennen, daß ein und dasselbe Gestein sehr verschiedenartige Böden liefern kann, je nach den Umständen, unter denen seine Verwitterung sich vollzieht. Je nachdem z. B. größere Mengen von fließendem, die löslich gewordenen Bestandteile fortführendem Wasser mit dem zerfallenden Gestein in Berührung kommen oder nicht, kann der Granit unfruchtbaren Sand- oder einen fruchtbaren Lehmboden liefern, kann aus *Tonschiefer* ein an Kali und Kalk reicher und in anderen Fällen ein Boden hervorgehen, der nur Spuren dieser Stoffe enthält. Aus *Basalt* kann unter Umständen ein Boden gebildet werden, der in seiner Zusammensetzung sich nur wenig von dem ursprünglichen Gestein unterscheidet, unter anderen Verhältnissen kann aus dem an Kalk, Kali, Phosphorsäure reichen Muttergestein ein von diesen Stoffen fast freier Boden entstehen. Bezeichnungen, die bloß die Herkunft eines Bodens erkennen lassen, wie *Granitboden*, *Gneisboden*, *Basaltboden*, *Porphyrboden* u. a., bieten mithin keinerlei Handhabe, um den landwirtschaftlichen Wert der fraglichen Bodenarten zu ermessen.

D. Umwandlung der festen Erdrinde unter dem Einfluß vegetativer Kräfte.

Die früheren Erörterungen haben dargetan, daß chemische und mechanische Vorgänge unablässig an der Zerstörung der festen Erdrinde arbeiten und dadurch zugleich das Material für die mannigfachsten Neugestaltungen schaffen. Ebenso führen die pflanzlichen und tierischen Wesen, welche die Erde bevölkern, sowohl durch ihre Lebenstätigkeit als durch ihre abgestorbenen und der Zersetzung anheimfallenden Leiber einerseits den Zerfall des Bestehenden und anderseits den Aufbau neuer Gebilde herbei. Der Beteiligung tierischer und pflanzlicher Wesen an der Entstehung des Kieselgurs, der Kreide, des Muschel- und Korallenkalkes, des Kalktuffs, Wiesenkalks und des Salpeters ist früher bereits gedacht worden (S. 30, 43, 68, 52). Auch an der mancherorts vorkommenden Aufspeicherung von Phosphaten haben zweifellos vielfach Pflanzen und Tiere mitgewirkt. Den Resten von Seetieren verdanken höchstwahrscheinlich die *Petroleum*-ansammlungen[1], einer üppigen Pflanzenvegetation die *Steinkohlen*- und *Braunkohlen*lager ihre Entstehung. Aber die Mitwirkung tierischer und pflanzlicher Wesen an der Umgestaltung der Erdrinde beschränkt sich

---

[1]) Dieser besonders von K. Engler vertretenen Ansicht gegenüber sieht G. Kraemer die Muttersubstanz des Erdöls in den wachsartigen Bestandteilen von Algenansammlungen, wie sie sich in den tieferen Schichten zahlreicher Torfablagerungen finden.

nicht auf diese vereinzelten Vorkommnisse, sie spielt vielmehr bei der Entstehung aller Bodenarten eine wichtige Rolle

§ 55.

Einfluß lebender und abgestorbener Pflanzen auf die Bodenbildung. Bodenbakterien. Alle Pflanzen bedurfen zu ihrer Ernahrung gewisser Mineralstoffe, die wir als Bestandteile der die Erdrinde bildenden Gesteine kennen gelernt haben, und ferner sind ihnen Wasser, Stickstoff und Kohlenstoff notig. Wasser, Stickstoff und Kohlenstoff sind die vornehmsten Bildner des verbrennlichen („organischen") Teils der Pflanzenmasse In unerschopflichen Mengen bietet die Atmosphare fur alle Pflanzen leicht aufnehmbares Wasser. Der in ihr gleichfalls reichlich vorhandene Kohlenstoff ist mit Sauerstoff zu Kohlendioxyd (CO_2) verbunden Aber die hoher organisierten, Blattgrun (Chlorophyll) enthaltenden Pflanzen besitzen die Fahigkeit, das Kohlendioxyd der Luft in ihren chlorophyllhaltigen Zellen mit Hilfe des Sonnenlichtes zu spalten und dessen Kohlenstoff zum Aufbau ihres Korpers zu benutzen. Einige von ihnen, die Schmetterlingsblutler (Papilionaceen), vermögen auch, wie dies zuerst Hellriegel nachgewiesen hat, mit Hilfe kleinster Lebewesen („Bacterium radicicola", „Rhizobium", „Azotobakter"), die sich in ihren Wurzeln in eigentumlichen Anschwellungen (Wurzelknollchen) ansiedeln, den freien Stickstoff der atmosphärischen bzw. der Bodenluft zur Bildung ihrer stickstoffhaltigen Bestandteile zu verwerten. (Weiteres daruber unter Bodenbakterien im zweiten Teil dieses Paragraphen.) Den ubrigen höheren Pflanzen geht diese Fähigkeit ganz oder doch so weit ab, daß sie zu ihrer normalen Ernahrung des Vorhandenseins von Stickstoff*verbindungen* bedürfen Abgesehen von den verhaltnismaßig geringen Mengen von Stickstoffverbindungen, die sich bei den fruher erorterten Naturvorgangen (§ 29) bilden, stand aber zu der Zeit, in der auf der erkalteten Erdoberflache das Wachstum von Pflanzen moglich wurde, den letzteren nur der ungebundene Stickstoff der Luft zur Verfugung. Dem Wachstum hoherer Pflanzen, die wie die Schmetterlingsblutler den freien Luftstickstoff sich anzueignen vermogen, war der ihrer Wurzelentwicklung ungunstige Zustand der harten Steinmassen hinderlich Es konnten darauf naturgemaß nur hochst anspruchslose pflanzliche Organismen gedeihen, die zugleich die Fahigkeit besitzen, den zum Aufbau ihres Korpers notigen Stickstoff und Kohlenstoff der atmospharischen Luft zu entnehmen Daß es derartige Organismen gibt, hat die Forschung der Neuzeit zweifellos dargetan Es sind Bakterien („Spaltpilze"), denen das kaum verwitterte Gestein genugende mineralische Nahrung bietet, und die aus dem freien Stickstoff und dem Kohlendioxyd der Luft ihren Bedarf an Kohlenstoff und Stickstoff zu decken imstande sind Mit ihren ab-

gestorbenen Leibern ließen sie Stickstoff*verbindungen* zurück, die auch höheren, auf die Aufnahme gebundenen Stickstoffs angewiesenen Pflanzen die Ansiedelung ermöglichten und die durch ihre Lebenstätigkeit eine nicht unbeträchtliche gesteinzersetzende und dadurch bodenbildende Wirkung ausübten. Dieser Vorgang läßt sich noch heutzutage vielfach auf fast unverwittertem Fels beobachten. Zunächst sind es die anspruchslosesten Pflanzen, Algen, Flechten, die das Gestein beziehen, Feuchtigkeit zurückhalten und so, im Verein mit der immer vorhandenen Kohlensäure, den Verwitterungsprozeß beschleunigen und den Boden für das Wachstum immer anspruchsvollerer Gewächse vorbereiten. Die Pflanzenwurzeln in ihrem Bestreben, Nahrung aus dem Boden zu saugen, verzweigen sich über das Gestein, dringen in jedes noch so feine Spaltchen und umklammern die entstandenen Gesteinsbrocken. Durch die von ihnen ausgeschiedene Kohlensäure befördern sie die Verwitterung der Mineralien, mit denen sie in Berührung kommen, und durch eigentümliche Vorgänge, die man als *diosmotische* oder als *Diffusion* bezeichnet, wirkt in gleicher Richtung der in ihren Zellen eingeschlossene saure Wurzelsaft. Gerade die feinsten, besonders dicht an die Gesteinspartikel sich anlegenden Wurzelenden pflegen reich an organischen Säuren. Oxalsäure, Weinsäure, Zitronensäure u. a., zu sein. Diese sind sowohl im Zelleninhalt als auch in der die Zellhaut durchsetzenden Flüssigkeit gelöst und imstande, durch die Zellwandung hindurch auf die mit ihr in innige Berührung kommenden Gesteinselemente zersetzend und lösend einzuwirken. Die so entstandene Lösung mineralischer Stoffe „diffundiert" durch die Zellhaut hindurch in die Wurzelzellen und dient zur Versorgung der Pflanzen mit mineralischen Nährstoffen [1].

Auch *mechanisch* können die in die Gesteinsspalten eindringenden, an Umfang immer mehr zunehmenden Pflanzenwurzeln auf die Zertrümmerung des Gesteins hinwirken, indem sie die Erweiterung der Risse befördern, den Zusammenhang lockern und so den zersetzenden Agenzien Luft, Wasser und Kohlensäure, den Weg bahnen [2].

Auf der anderen Seite kann das natürliche Pflanzenwachstum einer weiteren Zerstörung der zertrümmerten Felsmassen dadurch vorbeugen, daß es deren Verschwemmung durch das Wasser hindert. Die den Boden beziehenden und mit ihren Wurzeln festigenden Moose, Gräser und Wald-

[1]) Vgl. hiermit auch die Bemerkungen über „Physiologisch saure" Salze in § 34.

[2]) Mit wie unwiderstehlicher Gewalt die Ausdehnung wachsenden Holzes erfolgt, ließ eine Beobachtung auf dem Garnisonsfriedhof in Hannover erkennen. Ein großer Sandsteinblock, der mit eisernen Klammern an eine Grabstätte befestigt war, wurde durch eine wachsende Birke unter Sprengung der Klammern beiseite gerückt.

bäume mildern die zerstörende Kraft des auffallenden Regens und schützen das bereits entstandene Erdreich gegen den seitlichen Stoß des zuströmenden Wassers.

Schon in den früheren Ausführungen ist mehrfach auf jene kleinen Lebewesen Bezug genommen worden, die man gewöhnlich als *Bakterien* bezeichnet. Die Forschungen auf dem Gebiet der Bakterienkunde lassen immer klarer die gewaltige Bedeutung dieser kleinsten Geschöpfe für zahlreiche Vorgänge in der Natur hervortreten, die man früher vornehmlich als chemische Kraftäußerungen anzusprechen gewohnt war. Auch bei der Bodenbildung und Umformung spielen sie offenbar eine wichtige Rolle. Insbesondere die von Hellriegel nachgewiesene Beteiligung von Bodenbakterien an der Ernährung der hülsenfrüchtigen Gewächse hat in neuerer Zeit der Untersuchung der Bodenbakterien und ihrer Bedeutung für Bodenbildung und Bodenkultur lebhaftes Interesse zugewendet und manche aussichtsreichen Ergebnisse gefördert. Immerhin darf nicht verschwiegen werden, daß die Bodenbakteriologie als Wissenschaft noch in den Kinderschuhen steckt und ihre Entwicklung noch weit zurücksteht hinter den Fortschritten der medizinisch-hygienischen Bakteriologie.

Abgesehen von Ursachen mehr äußerer Art sind dafür besonders die Schwierigkeiten verantwortlich zu machen, die sich der Erkennung und scharfen Kennzeichnung der einzelnen im Boden tätigen Mikroorganismen entgegenstellen sowie die Veränderlichkeit, die die Bakterienflora in einem Boden schon bei geringfügigen Veränderungen des letzteren aufweist, und die Leichtigkeit, mit der die einzelne Bakterienart beim Eintritt in andere Lebensbedingungen ihre Eigenschaften und Lebensäußerungen zu verändern scheint [1])

Bakterien (Spaltpilze oder Schizomycetes), der Gruppe der Thalluspflanzen (Thallophyten) unter den kryptogamischen Gewächsen angehörig, sind einzellige oder fadenförmige chlorophyllfreie Pflanzengestalten von winziger Größe — der größte Coccus (s. u.) hat einen Durchmesser von etwa $2\ \mu = \frac{2}{1000}$ mm. Ihre einfachste Form tritt in kugelrunden Zellen als „Kokken" auf. „Stäbchen"formen bezeichnet man als „Bacillus", Stäbchenzellen mit schwachschraubigen Krümmungen als „Vibrio", stärker gekrümmte als „Spirillum", gerade Zellflächen als „Leptothrix", korkzieherartig gekrümmte Zellfäden als „Spirochaete". Die Bakterien vermehren sich durch Zweiteilung der Zellen Ihre die Erhaltung der Art sichernde Verbreitung geschieht wie bei allen Kryptogamen durch Sporen, kleine, aus der Mutterzelle sich abteilende selbständige Lebewesen, die

[1]) Weiteres darüber bei Dr. H Fischer (s Literaturnachweis)

bei Gegenwart geeigneter Nahrstoffe und bei zusagender Temperatur keimen. Der Keim bildet sich wieder zum Bakterium aus.

Trotz der sehr geringen Unterschiede in ihrer Gestaltung weichen die verschiedenen Bakterienarten in ihrer Lebensweise und in ihren Lebensäußerungen außerordentlich stark voneinander ab.

So sicher der Zusammenhang zwischen dem Eintritt zahlreicher natürlicher Vorgänge und der Tätigkeit bestimmter Bakterien nachgewiesen ist, so rätselhaft ist vorläufig noch die Art und Weise, wie diese Wirkungen zustande kommen. Übrigens sind es nicht nur Lebensäußerungen der Bakterienzelle, welche auf die Umgebung verändernd einwirken können. Auch an sich leblose Bestandteile des Zellinhalts, sogenannte „ungeformte Enzyme“, können nach ihrem Austritt aus der Zelle Zersetzungen oder Verbindungen fremder Körper hervorrufen, mit denen sie in Berührung kommen, und zwar ohne daß sie selbst dabei merkbare Veränderungen erleiden.

Die meisten Bakterien bedürfen der Anwesenheit von Sauerstoff („aerobe“ B.), andere können ohne Sauerstoff auskommen („fakultativ anaerobe“ B.), einige Arten gedeihen nur bei Abwesenheit von Sauerstoff („obligat anaerobe“ B.). Die Anwesenheit größerer Mengen von Kalk scheint die Tätigkeit aller Bakterien zu erhöhen und für die meisten Vorbedingung für ihre gedeihliche Entwicklung zu sein.

Gegen Frost scheinen die meisten Bakterien unempfindlich zu sein, manche, wie z. B. die wichtigen, den Luftstickstoff in Pflanzenstickstoff überführenden, müssen vor längerer Belichtung geschützt werden.

Auch der übrigen, den höheren Pflanzen nötigen mineralischen Nahrstoffe können die Bakterien nicht entbehren. Während jene fast durchweg den zum Aufbau ihres Leibes nötigen Kohlenstoff dem Kohlendioxyd („Kohlensäure“) der Atmosphäre entnehmen, bedürfen die meisten Bakterien der Zufuhr organischer Stoffe zu ihrer Ernährung. Hinsichtlich ihres Stickstoffbedürfnisses verhalten sie sich sehr verschieden (s. u.).

Nach A. Fischer (s. Literaturnachweis) lassen sich die Bakterien hinsichtlich ihrer Lebensweise in drei biologische Gruppen zerlegen. Die eine, die „prototrophen“ Bakterien, vermag ganz oder teilweise ohne organische Nahrung zu gedeihen [1]), die beiden anderen, die „metatrophen“ und die „paratrophen“ Bakterien, sind nicht fähig, aus anorganischen Stoffen ihren Leib aufzubauen und daher zu ihrer Ernährung auf bereits gebildete organische Stoffe pflanzlicher oder tierischer Herkunft angewiesen. Die metatrophe, die Mehrzahl der Bakterien umfassende Gruppe,

[1]) Sie verhalten sich also nach dieser Richtung hin wie die höheren, Blattgrün enthaltenden Pflanzen, die gleichfalls fähig sind, das Kohlendioxyd der Luft zu spalten und daraus den zur Bildung der organischen Körpermasse nötigen Kohlenstoff zu entnehmen (s. o.).

lebt sowohl in der freien Natur als auf der inneren Oberfläche des tierischen und menschlichen Körpers Ein Teil von ihnen ruft Gärungsprozesse hervor („zymogene“ B.), andere sind Erreger der Fäulnis („saprogene“ B.), noch andere verhalten sich je nach den vorhandenen Lebensbedingungen verschieden.

Die paratrophen Bakterien gedeihen nur innerhalb lebender Organismen oder doch nur unter Bedingungen, die den Verhältnissen im lebenden Körper nachgebildet sind

Alle Boden [1]) enthalten zahlreiche Bakterien teils als ruhende Keime, teils in lebhafter Vegetation. Für die Bodenbildung und die Bodenkultur beanspruchen die folgenden Bakterien eine besondere Bedeutung:

Die *Schwefelbakterien* (Thiobakterien), den prototrophen Bakterien (s o) zugehorig, finden sich an Orten, wo Schwefelwasserstoff auftritt Sie führen die Oxydation dieses Gases unter Abscheidung von freiem Schwefel herbei.

Eisenbakterien („Ferrobakterien“), gleichfalls prototrophe Bakterienarten, wirken unter Abscheidung von Ferrihydroxyd oxydierend auf Lösungen von saurem Ferrokarbonat ein (s S. 44). Übrigens legen manche Forscher dieser Mitwirkung an der Entstehung von Eisenockerablagerungen nur eine untergeordnete Bedeutung bei.

Von hervorragender Wichtigkeit sind die Bakterien, welche den *Bodenstickstoff* beeinflussen

Viele saprogene (s. o.) Bakterien wirken zersetzend auf organische, an sich nicht zur Pflanzenernährung taugliche Stickstoffverbindungen tierischer oder pflanzlicher Herkunft ein, so namentlich auf Eiweißstoffe und ferner auf den Harnstoff der tierischen Ausscheidungen unter Bildung von *Ammoniak* oder Ammonverbindungen, andere, und zwar prototrophe, dabei naturlich aerobe Bakterien oxydieren den Ammonstickstoff zu *salpetriger Saure* [2]) („Nitritbakterien“· Nitrosococcus und Nitrosomonas), und eine weitere Oxydation der salpetrigen Saure zu Salpetersäure, der fur die Pflanzenernährung wichtigsten Stickstoffverbindung, wird durch die Nitratbakterien (Nitrobacter) herbeigeführt („Nitrifikation“) [3])

[1]) Der ursprungliche Reichtum an Bakterien scheint von der Boden*art* abhangig zu sein. So wurden beispielsweise bei annahernden Zahlungen in 1 g Sandboden 380 000, in 1 g Lehmboden 500 000 Spaltpilze gefunden. Des weiteren wird Zahl und Artenmenge beeinflußt durch die Behandlung des Bodens (Kalkung, Dungung, Lockerung, Entwasserung usw)

[2]) Salpetrige Saure (HNO_2) kann unter anderem durch Sauerstoffentziehung (Reduktion) aus Salpetersaure (HNO_3) entstehen. Ihre Salze („Nitrite“) sind im Gegensatz zu den Nitraten Pflanzengifte

[3]) Ob die Ansicht mancher Forscher, daß bei diesem bedeutsamen Vorgang ein Teil des Ammonstickstoffs durch Verflüchtigung oder durch Festlegung in organischen Verbindungen für die Pflanzenernahrung verloren gehe oder minder-

Noch andere Bakterien vermögen den freien Stickstoff der atmosphärischen und der Bodenluft in Stickstoffverbindungen überzuführen. Von diesen leben die Bakterien der Wurzelknöllchen der Schmetterlingsblütler, Azotobakter, *Bacillus radicicola* oder *Rhizobium radicicola*, in gegenseitigem Parasitismus (Symbiose) mit den hülsenfrüchtigen Gewächsen. Sie beziehen von ihnen die notigen stickstofffreien Nährstoffe (in der ersten Zeit nach ihrer Einwanderung in die Wurzeln jener Pflanzen vielleicht auch Stickstoffnahrung), versorgen dann aber durch ihre Fähigkeit, den freien Stickstoff der Luft zu assimilieren, die „Wirtspflanze" mit Stickstoffverbindungen [1]).

Umstritten ist die Frage, ob die Stickstoffversorgung von Nichtleguminosen gleichfalls durch Bodenbakterien in nennenswertem Maße gefördert werden kann Nach den bisherigen Untersuchungen ist das Vorkommen freilebender Bakterien nicht ausgeschlossen, die den Boden mit Stickstoffverbindungen anreichern. Auch scheint sich durch Heranzucht solcher Bakterienarten, die den angebauten Pflanzen gut angepaßt sind, und durch geeignete Ernährung ihre Wirkung nicht unwesentlich erhöhen zu lassen

„*Denitrifizierende Bakterien*". Neben den die Stickstoffversorgung der Pflanzen begünstigenden Lebewesen finden sich im Boden Bakterienarten,

wertig werde, und daß sich hierdurch die vielfach beobachtete Minderwirkung des Ammonstickstoffs gegenüber dem Salpeterstickstoff erklare, zu Recht besteht, ist noch nicht erwiesen. Vielleicht sind für die letzteren in vielen Fällen Umstände verantwortlich zu machen, die der Nitrifikation entgegenwirken So scheinen die Salpeterbakterien außerordentlich empfindlich gegenuber dem Wasservorrat des Bodens zu sein. Schlösing der Jüngere fand, daß von dem Stickstoff eines und desselben Bodens unter sonst gleichen Verhaltnissen bei einem Bodenwassergehalt von

9,5 %	:	2,7 %,
10,6 „	:	80,0 „
11,5—14,0 „	:	100,0 „

in Salpeterstickstoff ubergingen.

[1]) Die in die Wurzelknöllchen eingewanderten Bakterien scheinen zunachst eine Umwandlung in „Bakteroiden" zu erleiden, bevor sie fahig werden, den freien Luftstickstoff in Stickstoffverbindungen überzufuhren. Diese Umwandlung scheint durch die Anwesenheit leicht löslicher Stickstoffverbindungen im Boden beschleunigt zu werden.

Böden, denen jene Bakterien fehlen, kann man sie nach Salfeld durch Aufbringen geringer Mengen von Erde aus leguminosenwuchsigen Äckern („Bodenimpfung") oder nach Nobbe und Hiltner von Reinkulturen des Bazillus radicicola („Nitragin" oder „Azotogen") einverleiben (Entgegen der fruheren Annahme, wonach jede der verschiedenen Pazilionaceenarten eines besonderen Bakteriums zur Bindung des atmospharischen Stickstoffs bedurfe, neigt man jetzt der Ansicht zu, daß ein und dieselbe Bakterienart bei allen Schmetterlingsblutlern die gewunschte Wirkung ausübe, wenn sie sich deren Eigenschaften erst angepaßt habe.

die sie erheblich beeinträchtigen. Sie scheinen vornehmlich den anaeroben Arten anzugehören, da ihre Wirkungen besonders stark in schlecht entwässerten, ungenügend durchlüfteten Boden hervortreten. Diese bestehen darin, daß sie entweder die salpetersauren Salze unter Abspaltung freien Stickstoffs zerlegen oder die Salpetersäure zu salpetriger Säure reduzieren („Denitrifikation“) oder sie in eiweißartige, für die Kulturpflanzen nicht aufnehmbaren Stoffe umwandeln. Auch die Entwicklung dieser Unholde wird durch die Anwesenheit reichlicher Kalkmengen im Boden sehr gefördert.

Schließlich mag noch bemerkt werden, daß nicht nur Bakterien, sondern auch zahlreiche andere kleine Lebewesen, wie Algen, Fadenpilze, Protozoen, Rotatorien u. a., an den besprochenen Bodenvorgängen sowie auch an der später zu erörternden Erscheinung der „Bodengare“ beteiligt sind [1].

Einfluß abgestorbener Pflanzen auf die Bodenbildung. Von größter Bedeutung für die Entstehung des Bodens sind ferner die Veränderungen, welche die Pflanzen nach ihrem Tode erleiden, und die Wirkung, die sie auf das umgebende Gestein ausüben.

§ 56.

Verwesung. Unter natürlichen Verhältnissen unterliegen die Bestandteile abgestorbener Pflanzen einer fortdauernden Umwandlung. Äußerlich spricht sie sich in der Zerstörung der Pflanzenfarben und der pflanzlichen Formen aus. Eingeleitet wird sie wahrscheinlich stets durch die Lebenstätigkeit von niederen Lebewesen, darunter besonders von Bakterien (s. o.), deren Art auch auf den Verlauf und die Endprodukte des Zersetzungsvorganges von Einfluß ist. Beteiligt sich der *Sauerstoff* der Luft in hervorragendem Grade an dem Zersetzungsvorgange, so bezeichnet man diesen als *Verwesung*. Vom chemischen Standpunkt ist die Verwesung als ein Oxydationsprozeß, eine langsame Verbrennung anzusehen, wobei, unter Aufnahme von Sauerstoff, schließlich aller Kohlenstoff der organischen Pflanzenbestandteile in Kohlendioxyd und aller Wasserstoff in Wasser sich umsetzt, also die einfachen Verbindungen zurückgebildet werden, aus denen die lebende Pflanze die verwickelt zusammengesetzten Bestandteile ihres Körpers formte. Der von den Pflanzen in organischen Verbindungen, namentlich als Eiweiß aufgespeicherte Stickstoff wird bei der Verwesung entweder als freies Gas ausgeschieden oder in Ammoniak oder in Salpetersäure (§ 29) umgewandelt, während die

[1] Sie werden neuerdings von R. H. Francé (München 1913) unter dem Namen „Edaphon“ (nach dem griechischen Wort το ἔδαφος, der Boden) zusammengefaßt.

durch die Wurzeln aufgenommenen Mineralstoffe als Karbonate, Nitrate Sulfate, Phosphate, Silikate und Chloride zurückbleiben. Wie diese Mineralsalze die komplizierte Verwitterung (S 87), so befördert das beim Verwesungsprozeß auftretende Kohlendioxyd in Verbindung mit Wasser die einfache Verwitterung (S 83) der noch nicht völlig zersetzten Gesteinstrümmer Anderseits tragen die von den verwesenden Pflanzen hinterlassenen Stickstoffverbindungen sowie die Pflanzennährstoffe Kalk, Kali Phosphorsäure u a, die von den Pflanzenwurzeln beim Eindringen in die tieferen Bodenschichten gesammelt und beim Verwesen der Pflanzen in den oberen Bodenschichten angehäuft zurückgelassen werden, erheblich dazu bei, die Bedingungen für das Wachstum anspruchsvollerer Gewächse günstiger zu gestalten, und zwar um so mehr, je vollständiger deren Überführung in Salpetersäure oder vielmehr in salpetersaure Salze erfolgt. Die Umstände, die hierfür besonders maßgebend sind, werden später noch näher erörtert werden.

§ 57.

Der Verlauf des Verwesungsprozesses hängt im wesentlichen ab von den zur Verfügung stehenden *Sauerstoff- und Wassermengen*, von der *Temperatur*, der größeren oder geringeren *Widerstandsfähigkeit* der der Zersetzung unterliegenden Pflanzenbestandteile und von der Anwesenheit oder Abwesenheit gewisser mineralischer Stoffe, die die Lebenstätigkeit der Verwesungsbakterien beeinflussen oder auf die pflanzlichen Stoffe eine chemische Wirkung ausüben.

Je leichteren Zutritt der *Luftsauerstoff* zu den abgestorbenen Pflanzenresten hat, um so energischer wird im allgemeinen die Oxydation von Kohlenstoff und Wasserstoff verlaufen Die Anwesenheit von *Wasser* ist ferner eine durchaus nötige Vorbedingung für den Eintritt der Verwesung Diese findet nicht statt bei völlig ausgetrockneten Stoffen, sie wird durch zunehmenden Wassergehalt der verwesenden Substanz so lange gesteigert als dieser keinen hemmenden Einfluß auf den Zutritt des Luftsauerstoffs ausübt Nach Untersuchungen von E. Wollny[1]) enthielt die Luft in einer Anhäufung verwesender Pflanzenstoffe bei einer Temperatur von 20° und einem

Wassergehalt von .	6,8 %	26,8 %	46,8 %
in 1000 Raumt . .	3,2	54,2	61,5 Raumt Kohlendioxyd

Die Intensität der Verwesung ist ferner in hohem Grade abhängig von der Höhe der *Temperatur* Sie wird verlangsamt oder gehemmt, sobald die Temperatur unter eine gewisse Grenze sinkt oder gewisse Grade übersteigt. Wie groß deren Einfluß innerhalb der Grenzen, zwischen denen

[1]) Journ f Landw, Jahrg 1886, Bd. 34, S 245

noch eine Verwesung erfolgt, auf die Energie der Oxydation ist, geht aus folgenden Zahlen hervor: Versuche der Moor-Versuchsstation[1]) ergaben für 1000 l Bodenluft bei 30 cm Tiefe in einem gut entwässerten und aus leicht zersetzlichen Pflanzenresten bestehenden Niederungsmoor einen Gehalt an

Kohlendioxyd von	17,3 g	33,9 g	56,7 g.
Bei einer Bodentemperatur von	5,4°	10,9°	17,2°

Daß die *besonders festen und dichten* Pflanzenteile, z. B. die verholzten Stengel länger der Verwesung widerstehen als die weichen und porösen, die dem Eindringen der Zersetzungsagenzien kein Hindernis bieten, liegt auf der Hand. Auch die *chemische Beschaffenheit* gewisser Pflanzenbestandteile spielt dabei eine Rolle. Sehr widerstandsfähig sind z. B. die mit Kieselerde imprägnierte Oberhaut vieler Gewächse sowie die Wachs- und Harzstoffe der Pflanzen. Das aus eigentümlichen Umwandlungen von abgestorbenen Pflanzen (vielleicht auch von tierischen Körpern) hervorgegangene *Erdharz* („Erdwachs", „Bitumen") widersteht gleichfalls lange weiterem Zerfall und kann auch, indem es Gesteine durchdringt, diese auffällig lange vor der Verwitterung schützen. Befördert wird die Verwesung sehr erheblich durch die Anwesenheit *alkalisch reagierender* Stoffe, z. B. von Kalium- und Natriumkarbonat, von Calciumhydroxyd und auch von Calciumkarbonat, also von Stoffen, die auf die pflanzlichen Substanzen lösend einwirken und wahrscheinlich der Entwicklung und der Lebenstätigkeit der Verwesungsorganismen förderlich sind. *Verlangsamt* oder vollständig gehemmt wird sie dagegen durch andere Stoffe, welche die Entwicklung der Bakterien ungünstig beeinflussen, so durch größere Mengen von Chloriden der Alkali- und Erdmetalle, z. B. von Kochsalz, Kaliumchlorid u. a., ferner durch lösliche Salze der schweren Metalle, z. B. Eisensulfat, Quecksilberchlorid, Kupfersulfat u. a. Auch das Vorhandensein freier Säuren wirkt nachteilig auf die Verwesungsvorgänge ein.

Endlich beteiligen sich an der Zersetzung der Pflanzenreste im Boden noch die in dem letzteren lebenden *Tiere*, und unter diesen in hervorragendem Grade die Regenwürmer, mittelbar, indem sie durch ihre wühlenden und grabenden Bewegungen den Boden lockern und dadurch dem Luftsauerstoff Eingang verschaffen, unmittelbar dadurch, daß sie die als Nahrmittel aufgenommenen Pflanzenstoffe in ihren Verdauungsorganen zu einer der Verwesung leicht unterliegenden Masse verarbeiten. Behilflich sind ihnen dabei gewisse, ihrem Darmkanal eigene Drüsen, die

[1]) Dritter Bericht über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation (Die Bodenluft in besandetem und nicht besandetem Hochmoor- und Niederungsmoorboden), s. Literaturverzeichnis.

Calciumkarbonat absondern Weiteres uber die Tatigkeit der Regenwurmer s u unter Bodengare. Auch die Tätigkeit anderer im Boden hausender Wurmer, ferner von Insekten (Engerlingen, Ameisen) und auch von höheren Tieren (namentlich von Maulwürfen) wirkt nach beiden Richtungen fordernd auf die Verwesung ein Das Vorhandensein *freier Säuren* im Boden verschlechtert die Lebensbedingungen aller dieser Tiere

§ 58.

Humus. Bisher war nur die Rede von den Endprodukten der Verwesung Zwischen ihnen und den organisierten Pflanzengebilden, aus denen sie hervorgehen, liegt aber eine große Anzahl von *Mittelgliedern*, von dunkel gefärbten, in den verschiedensten Zersetzungsstadien befindlichen und fortwährend sich verändernden Substanzen, Erzeugnissen einer noch unvollständigen Verwesung. Diese Stoffe, die, solange sie nicht infolge weiterer Aufnahme von Sauerstoff in die letzten, zum Teil luftförmigen Produkte des Verwesungsprozesses sich umgewandelt haben, einen wichtigen Teil des Kulturbodens bilden, bezeichnet man als *Humus* oder als „Humusstoffe", „Humussubstanzen".

Obwohl die chemische Forschung mit der Untersuchung der *Humusstoffe* sich vielfach beschäftigt hat, ist es bisher nicht gelungen, deren chemische Natur befriedigend aufzuklären Durch Einwirkung gewisser Reagenzien lassen sich zwar aus dem Humus verschiedene Korper absondern, die aber bei verschiedener Darstellungsweise verschiedene Zusammensetzung und verschiedene Eigenschaften aufweisen und daher nicht als reine chemische Verbindungen, sondern wahrscheinlich als ein Gemenge von verschiedenen Korpern angesehen werden müssen Nichtsdestoweniger hat man diesen Stoffen Namen beigelegt, wie „Humin", „Ulmin", „Huminsäure", „Ulminsaure", „Quell-" oder „Krensaure", „Quellsatz-" oder „Apokrensäure", „Geïnsaure" u a m., ohne aber Gewißheit daruber schaffen zu konnen, ob sie vorgebildete Bestandteile des Humus oder erst bei seiner chemischen Verarbeitung entstanden sind. Durch Behandlung des natürlich vorkommenden Humus mit kalten alkalischen Flüssigkeiten (Kalilauge, Natronlauge, Ammoniak) lassen sich daraus Stoffe abtrennen, die in den angewandten Reagenzien loslich sind, aus ihrer Losung durch Zusatz von Säuren abgeschieden werden, also den Charakter von in Wasser schwer löslichen Säuren tragen. Ein anderer Teil des Humus wird von alkalischen Flussigkeiten nicht in Losung ubergeführt. Die gelösten Stoffe bezeichnet man gewohnlich als *Humussaure*, die nicht loslichen als *Humin* Beide Stoffe oder Stoffgruppen enthalten neben Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff noch Stickstoff und mineralische Stoffe, deren Abtrennung so schwer gelingt, daß es unklar bleibt, ob sie einen zugehörigen Teil oder nur eine Verunreinigung der erst-

genannten bilden. Zwar ist es gelungen, aus den in Alkalien löslichen Bestandteilen des Humus eine von Mineralstoffen und von Stickstoff fast freie Säure zu gewinnen (D e t m e r s Huminsäure), aber es ist unentschieden, ob sie im natürlichen Humus vorhanden oder ein durch jene Einwirkungen umgestaltetes Erzeugnis ist.

Die durch Alkalien in Lösung gebrachten Stoffe, die wir schlechtweg als „Humussäure“ bezeichnen wollen, sind in reinem Wasser schwer löslich. Ein Gehalt des Wassers an freien Säuren und an gewissen Salzen: Chloriden, Nitraten, Sulfaten der Alkali- und Erdmetalle, erhöht die Schwerlöslichkeit, die Anwesenheit von löslichen Phosphaten vermindert sie. Aus einer wässerigen Lösung werden die Humussäuren bei sehr niedriger Temperatur abgeschieden. So wenig die chemische Natur der natürlichen Humusstoffe erkannt ist, so läßt sich doch von allen sagen, daß sie aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff und den Mineralstoffen bestehen, die den humusliefernden Pflanzen eigen waren. An Kohlenstoff sind sie prozentisch reicher, an Wasserstoff und Sauerstoff prozentisch ärmer als der Pflanzenbestandteil, aus dem sie der Hauptmasse nach entstanden sind: die Pflanzenfaser oder *Cellulose*. Der letzteren kommt die chemische Formel: $C_6H_{10}O_5$ zu, und sie enthält demnach 44,4 % Kohlenstoff, 6,2 % Wasserstoff, 49,4 % Sauerstoff. Dagegen enthalten die von Mineralstoffen, Stickstoff und Wasser ganz frei gedachten Humusstoffe etwa 59—64 % Kohlenstoff, 4,4—4,6 % Wasserstoff und 35—36 % Sauerstoff. Bei der langsamen Oxydation der Pflanzenstoffe, die man als Verwesung bezeichnet, treten also von dem ursprünglich vorhandenen Wasserstoff und Sauerstoff größere Mengen in Form von Wasser aus, als von dem Kohlenstoff in Form von Kohlendioxyd. Man kann sich den Vorgang etwa in folgender Weise vorstellen. Nach der Formel der Cellulose (s. o.) kommen

	72 G.-T. Kohlenst.,	10 G.-T. Wasserst.,	80 G.-T. Sauerst.
Infolge der Verwesung an Luftsauerstoff aufgenommen:	— „ „	— „ „	32,6 „ „
Summa:	72 G.-T. Kohlenst.,	10 G.-T. Wasserst.,	112,6 G.-T. Sauerst.
Zur Bildung von 45,1 Kohlendioxyd und von 49,5 Wasser verwendet:	12,3 „ „	5,5 „ „	76,8 „ „
Bleibt	59,7 G.-T. Kohlenst.,	4,5 G.-T. Wasserst.,	35,8 G.-T. Sauerst.

d. i. die prozentische Zusammensetzung von D e t m e r s „Huminsäure“ (s. o.).

Der *Stickstoff*gehalt der natürlichen Humusstoffe hängt zunächst ab von dem größeren oder geringeren Stickstoffreichtum der humusbildenden

Pflanzen. Es ist anzunehmen, daß in den ersten Stadien der Verwesung nur sehr wenig Stickstoff austritt. Infolge der Oxydation des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs zu Kohlendioxyd und Wasser, die zum Teil auf Kosten des Luftsauerstoffs, zum Teil auf Kosten des in der Masse selbst enthaltenen Sauerstoffs (s o.) vor sich geht, muß sich der zurückbleibende Rest also prozentisch immer mehr mit Stickstoff anreichern. Er ist zum weitaus überwiegenden Teil fest an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff gebunden und setzt sich erst bei weiterem Fortschreiten des Verwesungsvorganges und dem damit verbundenen völligen Zerfall der Pflanzenreste in Verbindungen um, die für die Kulturpflanzen aufnehmbar sind (Ammoniak, Salpetersäure) Weiteres darüber werden die Erörterungen über die Eigenschaften der verschiedenen Böden bringen. Der Stickstoffgehalt des von Wasser und Mineralstoffen frei gedachten Humus kann 1—6 % betragen

Die natürlichen Humusstoffe besitzen in der Regel eine schwächer oder stärker saure Reaktion, d. h. sie röten in feuchtem Zustand blauen Lackmusfarbstoff. Sehr häufig beruht diese nur auf einem Gehalt an Kohlensäure, die sich bei der stetig fortschreitenden Verwesung der Humusstoffe bildet In diesem Fall verschwindet beim Austrocknen der Masse mit der Verflüchtigung des Kohlendioxyds auch die saure Reaktion. Nicht selten bleiben aber auch die Humussubstanzen nach dem Austreiben der anhaftenden Kohlensäure sauer, sie enthalten dann *freie Humussäuren*, und man kann in diesem Fall von „saurem Humus" sprechen. Im anderen Fall darf man annehmen, daß die im Humus enthaltenen Humussäuren an Metalle (namentlich an Calcium) gebunden, also in Form von Salzen vorhanden sind, und man nennt derartigen Humus wohl „milden" Humus. Der letztere wird sich also namentlich aus Pflanzen und in Bodenarten bilden, die an basischen Stoffen und besonders an Kalk reich sind, während die Entstehung des sauren Humus an kalkarme Pflanzen und Böden gebunden ist Eigentümlich und noch nicht genügend aufgeklärt ist es, daß die humussauren Salze weit leichter der *Verwesung* unterliegen als die freien Humussäuren[1]), und hierauf dürfte zum Teil die zersetzende Wirkung zurückzuführen sein, die die Zufuhr von Kalk und von kohlensauren Salzen auf die sauren Humusstoffe ausübt. Die Humussäuren werden dadurch in humussaure Salze („Humate") umgewandelt, diese gehen durch langsame Oxydation in kohlensaure Salze über, die dann wieder fähig sind, mit Humussäuren Humate zu bilden

Die freien Humussäuren haben nicht nur die Fähigkeit, kohlensaure Salze unter Austreibung von Kohlendioxyd zu zersetzen, sie wirken, wo

[1]) Zu einem Teil hängt diese Tatsache allerdings damit zusammen, daß die die Verwesung fördernden Organismen in sauren Stoffen ungünstigere Lebensbedingungen vorfinden (s. o.).

sie in großen Massen vorhanden, auch zerlegend auf beständigere Verbindungen ein („Massenwirkung“, s o.) Chloride, Sulfate, Phosphate, ja die schwer zersetzlichen Silikate werden durch sie unter Bildung von humussauren Salzen und unter Abscheidung von freier Chlorwasserstoffsaure, Schwefelsaure, Kieselsaure, Phosphorsäure oder saurer phosphorsaurer Salze (S. 47), also von Stoffen zerlegt, die zum Teil die Zersetzung der vorhandenen Gesteine auf das lebhafteste befordern[1]). An der letzteren beteiligt sich ubrigens auch, wenn auch weniger energisch, der milde, freie Humussäuren nicht enthaltende Humus insofern, als er eine stetig fließende Quelle von Kohlensaure darstellt.

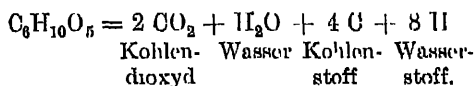
Abgesehen von den chemischen Wirkungen, die die Humusstoffe auf die mineralischen Bestandteile des Bodens ausuben, teilen sie diesem wichtige Eigenschaften mit, von denen später ausführlich die Rede sein wird.

§ 59.

Die Vermoderung und Verkohlung. Sind die Bedingungen, z. B. die *Temperatur*verhaltnisse, fur eine schnelle Verwesung der abgestorbenen Pflanzenreste nicht gunstig, wird namentlich durch irgendeinen Umstand der Zutritt des *Luftsauerstoffs* erheblich gehemmt, so findet zwar auch eine Zersetzung der ersteren statt, aber sie verläuft dann weit langsamer, und die Zwischen- und Endprodukte sind von den bei reichlichem Luftzutritt entstehenden verschieden Eine mangels ausreichenden Luftzutrittes verzogerte und in ihren Erzeugnissen abgeänderte Verwesung pflegt man als „Vermoderung“ zu bezeichnen. Auch bei der Vermoderung verlieren die Pflanzenteile allmählich ihre Struktur, sie werden „desorganisiert“, sie setzen sich in „Moder“ um Die aus der Vermoderung der organischen Stoffe hervorgehenden festen Korper zeichnen sich vor den Verwesungsprodukten namentlich durch einen geringeren Sauerstoffgehalt aus. Bei mangelndem Luftzutritt oxydieren sich Kohlenstoff und Wasserstoff der organischen Pflanzenteile hauptsachlich auf Kosten des nur in beschränktem Maß vorhandenen Sauerstoffs der letzteren, es werden also auch nur beschrankte Mengen von Kohlendioxyd und Wasser

[1]) Daß Humussauren selbst aus den schwerzersetzlichen Sulfaten und Chloriden der Alkalien die Sauren abscheiden konnen, ist durch zahlreiche Beobachtungen festgestellt So zeigten Untersuchungen der Moor-Versuchsstation ausgefuhrt von Dr R Kißling (Landwirtsch Jahrb 1883, S 193), uberemstimmend mit den Arbeiten von Professor H. Eichhorn-Berlin, daß das Aufschließungsvermogen der an freien Humussauren reichen Hochmoore fur schwerlosliche Phosphate (s. S. 47) durch Anwesenheit von Kaliumsulfat und von Kaliumchlorid erheblich verstarkt werde Die Tatsache ist nur so zu erklaren, daß die durch die Humussauren freigemachte Schwefelsaure und Chlorwasserstoffsaure die Überfuhrung des Tricalciumphosphates in Monocalciumphosphat oder freie Phosphorsaure begunstigt haben.

gebildet, während ein größerer Teil des Kohlenstoffs zurückbleibt oder auch in Form von sauerstofffreien Kohlenstoff-Wasserstoffverbindungen sich verflüchtigt. Zur Veranschaulichung dieses Vorganges kann man wieder von dem hauptsächlichsten Pflanzenbestandteil, der Pflanzenfaser oder Cellulose ($C_6H_{10}O_5$) ausgehen (vgl. S. 107) Würde aller Sauerstoff der Cellulose zur Bildung von Kohlendioxyd und Wasser verbraucht, so ließe diese Umsetzung sich durch die folgende chemische Gleichung ausdrücken:

$$C_6H_{10}O_5 = \underset{\text{Kohlendioxyd}}{2\,CO_2} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} + \underset{\text{Kohlenstoff}}{4\,C} + \underset{\text{Wasserstoff.}}{8\,H}$$

Verliefe die Umwandlung in dieser Weise, so würde als Endprodukt reiner Kohlenstoff zurückbleiben, der Wasserstoff aber sich verflüchtigen [1]). Bei dem Vermoderungsprozeß tritt aber fast immer noch ein Kohlenwasserstoff von der Zusammensetzung CH_4 auf: „*Sumpfgas*", „Grubengas", in der chemischen Sprache „Methan" genannt, ein brennbares Gas, das beim Aufrühren stehender, an vermodernden Pflanzenstoffen reicher Gewässer leicht beobachtet werden kann und das den Hauptbestandteil der gefährlichen „schlagenden Wetter" in den Steinkohlengruben bildet. Man kann also annehmen, daß ein Teil des Kohlenstoffs der vermodernden Pflanzenmasse mit dem Wasserstoff Methan bildet: $2\,C + 8\,H = 2\,CH_4$. Es würde also als letztes Produkt der Vermoderung nur Kohlenstoff zurückbleiben Wenn die Vermoderungsvorgänge in der Natur auch schon deswegen sich nie so glatt vollziehen, wie es diese schematischen Gleichungen andeuten, weil die sich zersetzenden Pflanzenmassen neben Cellulose noch viele andere Stoffe von anderer Zusammensetzung enthalten, so tritt dabei doch stets eine erhebliche prozentische Anreicherung der festen Vermoderungsprodukte an Kohlenstoff auf, und man spricht daher bei weit fortgeschrittenen Vermoderungsprozessen mit Recht von einer „Verkohlung" [2])

§ 60.

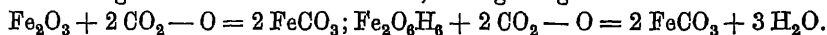
Reduktionsprozesse. Kennzeichnend für den Vermoderungsprozeß sind die Wirkungen, die die vermodernden Pflanzenreste auf sauerstoffhaltige Körper ausüben, mit denen sie in Berührung kommen In ihrem Bestreben, ihren Kohlenstoff und Wasserstoff zu Kohlendioxyd und

[1]) Bei der Zersetzung organischer Stoffe unter Abschluß des Luftsauerstoffs wird regelmäßig auch freier Wasserstoff entwickelt

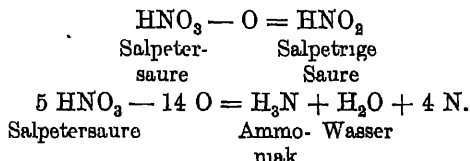
[2]) Der Anthracit, die Steinkohlen und die Braunkohlen sind die bekannten Produkte der „Verkohlung" von Pflanzenmassen. Infolge des Verkohlungsprozesses ist der Kohlenstoffgehalt bei dem ältesten Gebilde, dem Anthracit, bis auf etwa 94 %, bei den jüngeren Steinkohlen auf 80–90, bei den noch jüngeren Braunkohlen auf etwa 70 % gestiegen.

Wasser zu oxydieren, entziehen sie den letzteren Sauerstoff und bewirken so ihre „Reduktion". Die Entstehung von Sulfiden aus Sulfaten, das Auftreten von Schwefelwasserstoffgas infolge von Reduktionsvorgängen ist bereits früher besprochen worden (§ 24)

Ferrioxyd und *Ferrihydroxyd* werden durch vermodernde Pflanzenreste zu Ferrooxyd und Ferrohydroxyd reduziert. Durch das infolge der Kohlenstoffoxydation gleichzeitig auftretende Kohlendioxyd können diese Verbindungen in Ferrokarbonat übergeführt und, da dieses in dem kohlensäurehaltigen Bodenwasser löslich ist, beweglich gemacht werden.

$$Fe_2O_3 + 2\,CO_2 - O = 2\,FeCO_3;\ Fe_2O_6H_6 + 2\,CO_2 - O = 2\,FeCO_3 + 3\,H_2O.$$

Die *Salpetersäure der Nitrate* kann bei Anwesenheit vermodernder Stoffe zu salpetriger Säure und zu Ammoniak reduziert werden. Ihre Überführung in Ammoniak ist bisweilen begleitet von einer Abspaltung freien Stickstoffgases Die folgenden Gleichungen mögen den Vorgang veranschaulichen.

$$\underset{\text{Salpetersäure}}{HNO_3} - O = \underset{\text{Salpetrige Säure}}{HNO_2}$$

$$\underset{\text{Salpetersäure}}{5\,HNO_3} - 14\,O = \underset{\text{Ammoniak}}{H_3N} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} + 4\,N.$$

§ 61.

Moorbildung, Vertorfung. — Torf. Überall, wo die Bedingungen für ein üppiges Pflanzenwachstum gegeben sind, und anderseits irgendwelche Umstände der schnellen Verwesung der abgestorbenen Pflanzen im Wege stehen, wo z. B. größere, die letzteren umgebende Wassermengen den Zutritt des Luftsauerstoffs verhindern oder doch stören, können sich allmählich so große Mengen ganz oder teilweise vermoderter Pflanzenreste ansammeln, daß sie ausschließlich den Boden bilden, während der Charakter des darunter liegenden Gesteins oder Mineralbodens ganz zurücktritt. Derartige, fast ganz aus den Resten abgestorbener Pflanzengenerationen bestehende Boden bezeichnet man als „*Moor*"

Die Vorgänge, die die Umwandlung der Pflanzen in einen dem unbewaffneten Auge als völlig amorph erscheinenden Moder oder in ein Gemenge von formlosen und von solchen Pflanzenresten bewirken, welche infolge ihrer größeren Widerstandsfähigkeit (S 104) ihr ursprüngliches Gefüge noch deutlich erkennen lassen, werden gewöhnlich unter dem Ausdruck „*Vertorfung*" zusammengefaßt Das Zersetzungsprodukt selbst bezeichnet man als „*Torf*" [1]), falls es die Fähigkeit besitzt, beim Austrocknen

[1]) Die von H Potonié und von C Weber vertretene Unterscheidung zwischen „Vermoderungs-" und „Vertorfungsvorgang" und zwischen den Ge-

ein gutes Brennmaterial zu liefern. Diese beruht — abgesehen von der Brennbarkeit — auf einem hohen Gehalt an stark vermoderter Pflanzenmasse, der eine erhebliche Volumverminderung, also Verdichtung beim Austrocknen zur Folge hat, und auf einem nicht unerheblichen Gehalt an weniger zersetzten pflanzlichen Fasern, die das Zerbröckeln, Zerkrümeln, Auseinanderfallen der getrockneten Masse verhindern[1])

Die Vertorfung vollzieht sich unter dem Einfluß des Wassers, das die abgestorbenen Pflanzen durchtränkt und den Zutritt des Luftsauerstoffs absperrt oder doch wesentlich einschränkt Dadurch wird die Verwesung gehemmt, dagegen der Zersetzungsvorgang gefördert, den wir früher (§ 59) als Vermoderung und Verkohlung bezeichnet haben Mit ihm ist eine Dunkelfärbung der Pflanzenteile verbunden, die sich auch dem umgebenden Wasser mitteilt, ferner ein stärkerer oder geringerer Zerfall der pflanzlichen Gewebe Die vorher in ihrem organischen Zusammenhang vor der auswaschenden Kraft des Wassers geschützten Pflanzenbestandteile verfallen, soweit sie von vornherein leicht löslich sind oder infolge der Zersetzung in leicht lösliche Formen übergeführt werden, der Auslaugung durch die atmosphärischen Niederschläge und das Bodenwasser. Zu diesen Stoffen gehören insbesondere die *Kalium*verbindungen, an denen alle Torfarten außerordentlich arm sind Auch ein beträchtlicher Teil der Phosphorverbindungen in den torfbildenden Pflanzen kann verloren gehen, wenn nicht die Anwesenheit eisenhaltigen Wassers die Entstehung schwerlöslicher Phosphorsäuresalze veranlaßt

Ein charakteristisches Merkmal der fortschreitenden Vertorfung ist der Übergang der geformten Pflanzenteile in eine mehr oder weniger formlose Masse mit wesentlich veränderten Eigenschaften[2]). Die Torf-

bilden „Moder“ und „Torf“ scheint mir durch die angeführten Unterscheidungsmerkmale nicht genügend begründet (F.).

[1]) Obige Erklärung entspricht dem gewöhnlichen Sprachgebrauch Nach einer Vereinbarung zwischen der Geologischen Landesanstalt und der Moor-Versuchsstation wird in Zukunft bei den Mooraufnahmen der ersteren die Bezeichnung „Moor“ als geologischer, die Bezeichnung „Torf“ als petrographischer Begriff angesehen Die Moore bestehen aus Torf Nur solche Bodenbildungen werden nach dieser Übereinkunft als „Moore“ bezeichnet, die mindestens eine 20 cm mächtige, von zufälligen Bestandteilen (z B Sand, Kalk, Eisen, Ton) nahezu freie Torfschicht aufweisen Die Substanz der verschiedenen Torfschichten setzt sich aus den Resten verschiedener Pflanzengesellschaften zusammen, denen als zufällige Bestandteile Ton und Sand, durch Wasser oder Wind von außen zugeführt, beigemengt sein können, und die als Erzeugnis chemischer (oder biologischer) Vorgänge während ihrer Bildung nicht selten einen hohen Gehalt an Eisen- oder Calciumverbindungen aufweisen

[2]) Als Produkt einer besonders weit fortgeschrittenen Vertorfung ist der *Dopplerit* zu nennen, ein in den verschiedensten Torfarten vorkommendes und diesen nach seinem Gehalt an Stickstoff und Mineralstoffen entsprechendes, aber

substanz besitzt die Fahigkeit, große Flussigkeitsmengen unter starker Vergroßerung ihres Volumens in sich aufzunehmen und festzuhalten (Quellungsvermogen — s. daruber unten unter „Kolloide“) Diese Fahigkeit geht aber verloren, wenn durch starkes Austrocknen ihr der großte Teil des Wassers entzogen wird Hierbei schrumpft sie ahnlich wie austrocknender Ton zu bisweilen äußerst harten, holzartigen, vom Wasser kaum noch benetzbaren Stucken zusammen Je mehr die torfbildenden Pflanzenteile ihre organisierte Form verlieren, um so starker wird ihr Kontraktionsvermögen Fast amorph gewordene Torfarten (s. u) konnen hierbei unter erheblicher Zunahme ihres spezifischen Gewichtes und ihrer Harte auf $^1/_{10}$ und weniger des ursprunglichen Volums schwinden.

Im Verfolg des Vertorfungsprozesses häufen sich die abgestorbenen Pflanzenmassen zu Schichten an, die nicht selten die Machtigkeit von 10 m und mehr erreichen

Entsprechend den äußerst mannigfaltigen Verhaltnissen, unter denen Moor entstehen kann, weisen auch die verschiedenen Moore große Verschiedenheiten in ihrer Beschaffenheit und in ihren Eigenschaften auf. In erster Linie wird die fur seine Kultivierung maßgebende Beschaffenheit eines Moores durch die Art der Pflanzen bedingt, die sich an seiner Bildung beteiligt haben, und weiter durch den Zersetzungszustand, in dem sich die abgestorbenen Reste dieser Pflanzen befinden Letzterer steht einerseits wieder zu der naturlichen Beschaffenheit der moorbildenden Pflanzen (S. 105) und anderseits zu den der Vertorfung mehr oder weniger gunstigen außeren Verhaltnissen in nahen Beziehungen Ob sich aber an irgendeiner Stelle diese oder jene Pflanzenarten besonders üppig entwickeln werden, hangt ganz wesentlich von der Beschaffenheit des Bodens, worin sie wurzeln, und des Wassers ab, das der Vegetation ihre Nahrstoffe zufuhrt, und so kann man mit vielem Recht den Satz aufstellen Die *Beschaffenheit einer Moorbildung richtet sich nach der Beschaffenheit des Untergrundes, worauf sie aufgewachsen ist, und nach der Beschaffenheit der Zuflusse, die die moorbildenden Pflanzen von außen her erhalten haben.*

§ 62.

Einteilung und Benennung der Moore Nach den vorstehenden Bemerkungen lassen sich die meisten der mannigfaltigen Moorgebilde in zwei Hauptgruppen ordnen. Die Glieder der einen entstanden unter Verhaltnissen, die nur bezuglich ihrer Ernahrung besonders anspruchslosen Pflanzen ein uppigeres Wachstum gestatten, die der anderen Gruppe

---

vollig amorph gewordenes Gebilde Im frischen Zustande bildet er eine dunkel gefarbte Gallert, die zu einer schwarzen, glanzenden, asphaltahnlichen Masse mit muschligem Bruch austrocknet Eigentumlicherweise scheinen selbst die in kalkreichen Mooren vorkommenden Dopplerite freie Humussauren zu enthalten

angehörigen Moore bildeten sich auf einem Boden, der entweder selbst an Nährstoffen reich war oder von außen her fruchtbares Wasser zugeführt erhielt. Im ersteren Fall beteiligen sich an der Torfzusammensetzung hauptsächlich Torfmoose (Sphagnaceen), heidekrautartige Gewächse (Erica, Calluna u. a.) und gewisse Riedgräser, namentlich „Wollgras" (Eriophorum), im anderen treten als torfbildend weit zahlreichere Pflanzenarten auf, darunter in hervorragenden Mengen gewisse Sußgräser (Gramineen): das gemeine Dachrohr („Reet", „Ried" — Phragmites communis), Schilf (Calamagrostis), Poa aquatica u. a., ferner zahlreiche Sauergraser (Halb-, Scheingräser — Cyperaceen): Riedgras (Segge — Carex), Binse (Scirpus), ferner Rohrkolben (Typha), Simse (Juncus), von Moosen nur selten Sphagnaceen (Torfmoose), dagegen Hypneen (Astmoose), von Holzgewächsen besonders Erle (Alnus), aber auch Eiche, Esche, Linde, Fichte, Weide u. a.

Nach den an der Torfbildung vornehmlich beteiligten und noch jetzt in ihrer natürlichen Vegetation vorherrschenden Pflanzen bezeichnet man die eine Moorgruppe als *Torfmoos-Wollgras-Heidetorf* oder Sphagneto-Eriphoreto-Callunetum, die andere als *Grastorf* (auch Grünlands- oder Wiesen- oder Rasentorf) oder Hypneto-Cariceto-Graminetum. An die Stelle dieser etwas weitlaufigen Benennungen treten zweckmaßig die Bezeichnungen „heidewuchsige" oder „graswüchsige" Moore Als eine Unterabteilung beider Gruppen kann man den *Waldtorf* (Arboretum) ansehen, dessen Substanz neben den Bestandteilen des Moos-Heidetorfes oder des Grastorfes noch erhebliche Mengen von Holz- und Baumblattresten enthält, und zwar von Birken- und Kiefern- (Fohren-) Resten beim Moostorf-Waldtorf, von Erlen, Weiden, Eschen, Eichen, Linden u. a. beim Grastorf-Waldtorf.

Zwischen diesen hinsichtlich ihrer naturlichen Vegetation, ihrer Bodenbeschaffenheit und ihres kulturellen Verhaltens streng geschiedenen Moorgruppen stehen zahlreiche Zwischenstufen, hervorgegangen aus Pflanzengesellschaften, deren einzelne Glieder zum Teil den niederungsmoorbildenden, zum Teil den hochmoorbildenden Gewächsen zuzurechnen sind.

Da die zur Moos-Wollgras-Heidetorf-Gruppe gehorigen Moore auf einem uber dem gewohnlichen Grundwasserspiegel belegenen Boden, und nicht oder nur wenig vom Bodenwasser beeinflußt, entstanden sind, die Unterlage der Grasmoore aber entweder von Wasser bedeckt oder doch haufigen Überschwemmungen ausgesetzt war, so nennt man die Moore der ersten Gruppe auch „Überwassermoore" (Supraaquatische) oder „*Hochmoore*", die der anderen „Unterwassermoore" (Infraaquatische) oder „*Niederungsmoore*" [1]).

[1]) Die Bezeichnung „Hoch"moor wird auch (wahrscheinlich falschlich) dem Umstande zugeschrieben, daß diese Moore eine gewolbte, in ihrer Mitte sich weit uber die Rander erhebende Oberflache besitzen, wahrend die Oberflache der

Die nach ihrem Gehalt an torfbildenden Pflanzen zwischen beiden Gruppen stehenden Moore bezeichnet man als „*Zwischen*-“ oder „*Mittelmoore*“ oder häufiger noch als „*Übergangsmoore*“, weil in der oft vorkommenden Schichtenfolge: Niederungsmoortorf — Hochmoortorf der Zwischenmoortorf den Übergang von einer Torfart in die andere bildet.

Die Benennung der Moorgruppen *Hochmoor* und *Niederungsmoor* ist, wenigstens in Norddeutschland, die allgemein übliche und schließt sich an die holländischen Namen „hooge veenen“ und „laage veenen“ und an die weitverbreiteten Bezeichnungen „Höhenboden“ und „Niederungsboden“ an. Sie bringt die für die allermeisten Glieder der einzelnen Gruppen zutreffenden Unterschiede hinsichtlich ihrer Höhenlage zum Wasser zum Ausdruck und gewährt dadurch auch für die praktische Verwertung der Moore einen schätzbaren Anhalt. Solange man sich nicht zu einer Benennung entschließt, die der pflanzlichen Herkunft des Moores Rechnung trägt, beispielsweise von ihrer natürlichen Pflanzendecke ausgeht, glaubt Verfasser an den bei uns eingebürgerten Bezeichnungen festhalten zu sollen, um so mehr, als er in den neuerdings hervorgetretenen Änderungsvorschlägen keinerlei Verbesserungen sieht. Ganz besonders gilt dies für die laut Beschluß der Direktoren der deutschen geologischen Landesanstalten in die geologische Bodenkartierung neuerdings eingeführte Bezeichnung „Flachmoor“ an Stelle von „Niederungsmoor“. Jener hauptsächlich in Süddeutschland gebräuchliche Name soll die ebene, bisweilen nach der Mitte hin einsinkende Oberfläche der graswüchsigen Moore im Gegensatz zu der meist konvex gewölbten Oberfläche der heidewüchsigen Moore (s. Anmerkung auf der vorangegangenen Seite) zum Ausdruck bringen, läßt aber bei dem Nichtkundigen nur allzu leicht die Vorstellung eines weniger mächtigen, „flachanstehenden“ Moores entstehen. Auch der von C. W e b e r vorgeschlagene Ersatz des Wortes Niederungsmoor durch „Niedermoor“ dürfte etwaige Mißdeutungen ebensowenig ausschließen wie die alte Bezeichnung.

Für die hinsichtlich ihrer natürlichen Vegetation und ihrer pflanzlichen und chemischen Zusammensetzung zwischen den Hoch- und den Niederungsmooren stehenden *Übergangsmoore* soll bei der geologischen Landeskartierung in Zukunft die Bezeichnung *Zwischenmoore* verwendet werden.

Niederungsmoore meist flach (bisweilen auch in der Mitte etwas gesenkt) erscheint. Die Hochmoore werden in Ostpreußen „*Moosbruch*“, in anderen Gegenden „Moos“ oder „Mosse“ genannt. Die Niederungsmoore bezeichnet man im nördlichen Deutschland auch als „Bruch“ (Bruchmoor) und als „Luch“. Weniger scharf unterscheidend braucht man für die verschiedenen Moore in West- und Süddeutschland die Bezeichnungen „Venn“, „Filz“, „Ried“, „Lohden“, „Wehr“ u. a.

§ 63.

Der den größten Teil Norddeutschlands bedeckende Diluvialboden bietet mit seinen zahlreichen, die Wasseransammlung befördernden Einsenkungen die denkbar günstigsten Vorbedingungen für die Moorbildung und ermöglicht zugleich durch die großen Verschiedenheiten in der Bodenzusammensetzung das Auftreten der verschiedensten Moorbodenarten [1]).

Die Bildung der Niederungsmoore. Am ungestörtesten erfolgte die Moorbildung in tieferen oder flacheren Seebecken, die, von den atmosphärischen Niederschlägen und von unter- und seitwärts eintretenden Zuflüssen gespeist, sich längere Zeit mit Wasser gefüllt erhalten konnten. Als schwer durchlässige und dadurch das Aufwachsen des Moores erleichternde Unterlage finden sich auf dem Grunde dieser Mulden häufig alluviale Ablagerungen, die, je nach der Beschaffenheit des begrenzenden Gesteins und der zufließenden Wässer, sandiger, toniger oder kalkiger Natur (Schlick, Wiesenmergel) sind, bisweilen auch aus Limonitbildungen (S. 50) oder aus Kieselgur (S. 30) bestehen und von zahlreichen Resten pflanzlichen und tierischen Ursprungs durchsetzt sind. Über ihnen oder auch unmittelbar dem Diluvium aufgelagert beobachtet man als älteste Torfschicht meist eine als „Mudde“ oder als „*Schlammtorf*“ zu bezeichnende, sehr gleichmäßige, zum überwiegenden Teil aus scheinbar völlig formlosen Pflanzenresten bestehende Ablagerung [2]), seltener eine eigentümliche, gleichfalls keine erkennbaren pflanzlichen Formen aufweisende Torfbildung, die man ihrer mechanischen Beschaffenheit wegen „*Torfleber*“ oder „*Lebertorf*“ nennt [3]).

Sobald diese Absätze aus überstehendem Wasser das Becken so weit

[1]) Daß auch der alluviale Boden Gelegenheit zur Entstehung von Mooren geben kann, zeigen die Marschmoore (s. u.).

[2]) Beim Ablassen von Seen bleibt der Schlammtorf nicht selten als einzige Torfbildung von wechselnder Mächtigkeit zurück. Beim Austrocknen kontrahiert er sich unter Bildung zahlreicher Risse außerordentlich stark und wandelt sich dabei in einen sehr harten, Wasser kaum noch aufnehmenden und der Kultivierung erhebliche Schwierigkeiten bietenden Boden um.

Soweit der unterlagernde Mineralboden von dunkel gefärbtem Moorschlamm durchsetzt ist, nennt man ihn in manchen Gegenden „Sohlband“.

[3]) Im nassen Zustande bildet der *Lebertorf* eine gelbliche, gelblich-grüne, hell- oder dunkelgrau gefärbte, elastische, aber trotzdem leicht brechbare Masse. Er besteht aus äußerst fein zerriebenen, von einigen Forschern als Ausscheidungen von Wassertieren angesprochenen Pflanzenteilen mit mineralischen Beimengungen (Quarz, Glimmer). Beim Trocknen verliert er die eigentümliche, an tierische Leber erinnernde Beschaffenheit und schwindet zu einer sehr harten Masse von blättrigem Gefüge zusammen. Im nordwestlichen Deutschland findet sich der Lebertorf in großer Ausdehnung u. a. auf dem Grunde des Dümmer Sees (Wesergebiet) und im Untergrunde der ihn umgebenden Moore; er wird hier als „Meergoil“ bezeichnet.

ausgefüllt hatten, daß das Dachrohr (Phragmites comm.), Seggen und andere Gräser Fuß fassen konnten, traten diese Pflanzen im Gemisch mit einer größeren oder geringeren Anzahl anderer auf dem Wasser schwimmenden oder vom Ufer hineinwachsenden wasserliebenden Gewächse, wie gelbe und weiße Seerose (Nymphaea und Nuphar), Laichkraut (Potamogeton), Nixkraut (Najas) und viele andere, als Moorbildner auf und lieferten in ihren abgestorbenen Resten den an den wohlerhaltenen Rhizomen und Halmteilen auch dem bloßen Auge leicht erkennbaren *Rohr-* oder *Schilftorf* („Phragmitestorf"), den man in manchen Gegenden auch als *„Darg"* oder *„Darf"* bezeichnet, und *Seggentorf*, zwei Torfschichten, die man unter dem gemeinsamen Namen *Sumpftorf* zusammenfassen kann.

Die fortschreitende Verlandung des Wasserbeckens schuf weiterhin günstige Bedingungen für das Wachstum von Holzpflanzen, von Waldbäumen. Solange sie von dem verhältnismäßig hohen Gehalt des Moorbodens an Pflanzennahrstoffen und besonders an Kalk Nutzen ziehen konnten, waren es namentlich die Erlen, die, im Verein mit Eschen, Fichten, Eichen, Weiden, Faulbaum, Linden und mit zahlreichen anderen auf feuchtem und nassem, beschattetem Boden wachsenden Pflanzen, moorbildend auftraten und den als Kulturboden sehr wertvollen *Bruchwaldtorf* [1]) lieferten.

Ging der Bruchwald durch irgendeine Veranlassung, z. B. durch zunehmende Bodennässe, zugrunde, so gewannen zwischen und über den gefallenen Stämmen wiederum jene wasserliebenden Pflanzen, Hypnummoose, Bitterklee (Menyanthes trifoliata), Sumpfgräser u. a., die Oberhand, deren vertorfende Reste den Bruchwaldtorf mit einer Schicht von *Gras-* (Rasen-, Wiesen-) *Torf* überlagerten.

Sehr viele in Seebecken entstandene Niederungsmoore weisen die soeben dargelegte Schichtenfolge: Schlammtorf, Rohr- und Seggentorf, Bruchwaldtorf, Seggen- und Grastorf auf. Jedoch bildet diese durchaus nicht die Regel. War die Bodeneinsenkung so flach, daß von vornherein Rohr und Seggen auf ihrem Grunde wachsen konnten, so kann die Schlammtorfschicht ganz fehlen, und es lagert dann der Rohr- oder Seggentorf unmittelbar dem mineralischen Untergrunde auf. Auch Bruchwaldtorf findet sich nicht in allen Niederungsmooren. Wo z. B. die Wachstumsbedingungen für das Dachrohr besonders günstig waren, wie es auf den stets wassergetränkten Seemarschboden der Fall ist, konnte ein

[1]) Die Bruchwaldmoore („Erlenbrüche") pflegen sich durch einen besonders hohen Gehalt an Stickstoff und Kalk, bisweilen auch an Phosphorsäure (Vivianit) und durch einen, für die Kultivierung sehr willkommenen vorgeschrittenen Zersetzungszustand auszuzeichnen.

fast ausschließlich aus den Resten dieser hervorragend moorbildenden Pflanze bestehendes Dargmoor sich bilden, dessen Oberfläche zutage liegt oder von einer aus Schein- und echten Gräsern entstandenen Rasentorfschicht bedeckt wird.

Übrigens scheint die Vertorfung von tieferen Bodeneinsenkungen sich oftmals auch in ganz anderer Weise, bisweilen auch von oben nach unten fortschreitend, vollzogen zu haben und noch zu vollziehen. Bei sanft abfallenden Ufern konnte sich deren Boden mit den früher genannten torfbildenden Wassergräsern, ferner mit Kalmus (Acorus), Rohrkolben, Wasserlilien u. a. besiedeln, deren abgestorbene Leiber im Verein mit schwimmenden Pflanzen, Seerosen, Krebsscheren (Stratiotes), Wasserpest (Elodea), Froschbiß (Hydrocharis), Wassergarbe (Myriophyllum, Tannwedel (Hippuris), Wasserhahnenfuß (Ranunculus aquatilis) u. a. den Boden allmählich aufhohten und die Wasserfläche immer mehr einengten. Die trockener werdenden Ränder boten auch minder wasserliebenden torfbildenden Gewächsen einen zusagenden Standort, und so erhielt das neu entstehende Moor eine nach unten gewölbte Oberflache, an deren tiefster Stelle sich vielfach noch blankes Wasser befindet. Oft hat sich in solchen Becken nur die Randzone am Ufer mit kompakter Torfmasse ausgefullt, wahrend im übrigen eine mehr oder minder mächtige Torfschicht auf dem Wasser schwimmt, die beim Betreten um so stärker in schwingende Bewegung gerät, je mehr man sich der Mitte der Mulde nähert. Durch Überwehung und Überschwemmung mit mineralischen Bodenarten sowie durch die mit einer Vergrößerung des spezifischen Gewichtes verbundene Vertorfung der abgestorbenen Pflanzenmasse kann das Gewicht der schwimmenden Decke so groß werden, daß sie untersinkt. An ihre Stelle tritt eine Neubildung, die dasselbe Schicksal erleidet, und so fort, bis das ganze Wasserbecken mit Moorsubstanz ausgefüllt ist.

Nicht selten aber sinkt die Moordecke nur so tief ein, daß auf ihrer Oberfläche immer neue Pflanzen sich ansiedeln, deren abgestorbene Reste die Torfschicht so weit verstärken, daß sie betretbar wird und landwirtschaftlich genutzt werden kann. Auf zahlreichen Seen Ostpreußens, insbesondere Masurens, finden sich derartige *schwimmende* Rasenmoore. Auch die sogenannten „Quebben“ des Steinhuder Meeres, schwimmende, weit in die Wasserfläche vorgeschobene Moorzungen, sind dahin zu rechnen.

Hervorragend günstige Bedingungen für die Entstehung umfangreicher Niederungsmoore bietet ferner das Überschwemmungsgebiet natürlicher Wasserläufe, so namentlich weite Flußtäler, deren Gewässer häufig über ihre Ufer treten. Hierbei kommen die schwebenden festen Stoffe des ausufernden Flusses, insbesondere die grobkornigeren, zum größeren Teil unmittelbar am Flußufer zur Ablagerung als ein naturlicher Wall, der

mit dem das Tal begrenzenden Höhenboden eine langgestreckte Mulde bildet. Hierin konnte sich, besonders wenn die Absätze des Wassers den Boden erst mit einer schwer durchlassigen Schlickschicht bedeckt hatten, auch zuzeiten von Niedrigwasser genugende Feuchtigkeit zur Speisung der gleichen niederungsmoorbildenden Flora erhalten, die wir bei der Vertorfung von Seebecken kennen gelernt haben Bei wiederholten, durch die allmähliche Aufhohung der Flußsohle beförderten Ausuferungen wurden die die Mulde allmählich ausfullenden Torfbildungen nicht selten mit sandigen, tonigen, kalkigen Stoffen uberschüttet, die sie bisweilen gleichmäßig durchsetzen, bisweilen durchschichten, bisweilen mehr oder weniger hoch bedecken

Es liegt ferner auf der Hand, daß auch auf solchen Böden, die nicht unmittelbar von Flußläufen getrankt werden, die Gelegenheit zur Moorbildung sich findet, sobald durch irgendeinen Umstand der freie Abfluß des Quellwassers oder der atmospharischen Niederschlage gehemmt wird So konnen durch Blitzschlag in Brand gesetzte oder durch pflanzliche oder tierische Schadlinge vernichtete Waldungen durch ihre vermodernden Stamm- und Laubmassen eine Versumpfung großer Gebiete herbeiführen und Veranlassung zur Entstehung ausgedehnter Niederungsmoore werden

§ 64.

Niederungsmoore auf Bergen. Auch auf den Hohen der Gebirge, unmittelbar uber dem festen Gestein, konnten niederungsmoorartige Bildungen entstehen, wenn die Gelegenheit zur Aufspeicherung nährstoff- und namentlich kalkreicheren Wassers gegeben war oder auch nur atmospharische Feuchtigkeit in den Hohlungen basischer Urgesteine (S. 59) oder sedimentarer Kalkgesteine (S 67) sich ansammeln konnte Sie pflegen hier aber nur selten eine großere Mächtigkeit zu erreichen und sind meist mit Brocken und Krumeln des unterlagernden Gesteins durchsetzt

§ 65.

Übergang von Niederungsmoor in Hochmoor. Übergangsmoore. Alle bisher geschilderten Torfbildungen sind den Niederungsmooren zuzurechnen. Sie entstehen unter dem Einfluß eines an Pflanzennährstoffen und namentlich an Calciumverbindungen nicht armen Bodens oder Wassers. Dementsprechend ist ihr Gehalt an Kalk und weiterhin an Stickstoff, nicht selten auch an Phosphorsaure [1]), wesentlich hoher als derjenige der dem-

[1]) Die gar nicht seltenen Anhaufungen von phosphorsaurereichen Verbindungen in den Niederungsmooren sind fur deren Fruchtbarkeitszustand von hohem Wert. Außerlich erkennt man sie an der weißen, beim Liegen an der Luft in blau ubergehenden Farbe des Vivianits oder an der rötlichen Farbung

nächst zu besprechenden Moorbildungen. Sie enthalten (s. S 108) nicht freie Humussäuren, sondern neben anderen Bestandteilen Humate. Die Zersetzung der torfbildenden Pflanzenteile ist deswegen meist weiter vorgeschritten, oder sie tritt doch bei genügender Durchlüftung weit schneller ein als bei den Übergangs- und den Hochmooren, eine Eigenschaft, die für ihre Kultivierung von Bedeutung ist.

Änderten sich während des Wachstums eines Moores die Bedingungen, unter denen die hochmoor- oder niederungsmoorbildenden Pflanzen gedeihen, so änderte sich mit der Art der moorbildenden Pflanzen auch der Charakter des Moores Sobald die Oberfläche eines aufwachsenden Niederungsmoores dem Einfluß der Faktoren entzogen wird, die das Wachstum von niederungsmoorbildenden Pflanzen begunstigen, sobald sie z B sich so hoch uber den mineralischen Untergrund erhoben hat, daß dessen Nährstoffreichtum oder nährstoffreiche Zuflusse von außen her fur die jüngste Pflanzendecke nicht mehr zur Geltung kommen, anderseits aber noch genug Feuchtigkeit vorhanden ist, um hochmoorbildenden Pflanzen das Wachstum zu ermoglichen, so verdrangen diese die bisher gedeihenden Pflanzenarten, und es kann sich dann uber dem Niederungsmoor ein Hochmoor aufbauen.

Ein gleiches kann erfolgen, wenn die stauende Nässe eines auch in seinen oberen Schichten versumpften Niederungsmoores anspruchsvollere Pflanzen nicht mehr aufkommen läßt

Ein wichtiges Beispiel für den Übergang von Niederungs- in Hochmoor sind die

Marschmoore. Diese eigentumlichen Moorbildungen haben sich auf einem an allen Pflanzennährstoffen reichen Boden, den alluvialen Ablagerungen des Seeschlicks (S 72), den norddeutschen „Marschen" aufgebaut. Eine fur die Marschen charakteristische Pflanze ist das Dachrohr (Reet, Ried) Phragmites communis Rohrfelder bedeckten vor der Entstehung jener Moore weite Flächen der Marsch und hinterließen beim Absterben der Pflanzen einen fast ausschließlich aus Phragmitesresten bestehenden Rohr- oder „Darg"torf zuruck Als dieser soweit aufgewachsen war, daß die Pflanzendecke nicht mehr von dem fruchtbaren Untergrund oder von seitlich zustromendem reichem Wasser Nutzen zog,

der Moorsubstanz an den Grabenböschungen und der vom Maulwurf aufgeworfenen Moorerde. Ihre Entstehung beruht auf der Schwerloslichkeit der Eisenphosphorsaureverbindungen Die bei der Zersetzung der moorbildenden Pflanzen loslich werdende Phosphorsaure wird durch das Eisen eisenhaltiger Quellen in Eisenphosphat ubergefuhrt und so gleichsam festgelegt

und anderseits die wasserstrotzende Dargmoorschicht sich nicht oder doch nur sehr langsam in pflanzenernährenden Humus umwandelte, starben die anspruchsvollen Rohrpflanzen ab, und an ihre Stelle traten die bescheidenen Torfmoose Das Grasmoor ging in ein bis 10 m Höhe erreichendes moos- und schließlich heidewuchsiges Hochmoor über Zu den Marschmooren gehört u. a das in neuerer Zeit mit großem Erfolg besiedelte Kedinger Hochmoor im Mündungsgebiet der Elbe

Natürlich vollzieht sich ein solcher Übergang nicht mit einem Schlage. Nur allmählich werden die Wachstumsbedingungen für die niederungsmoorbildenden Pflanzen schlechter, für die hochmoorbildenden günstiger Zwischen beiden Pflanzengesellschaften beginnt ein Kampf, der endlich mit dem Sieg der hochmoorbildenden endet. Das Produkt des Ringens ist eine Moorbildung, die zum Teil niederungsmoorbildenden, zum Teil hochmoorbildenden Pflanzen ihre Entstehung verdankt *(Übergangsmoor* oder *Zwischenmoor.)*

Wächst z. B. ein Bruchwaldmoor (S. 117) so weit empor, daß die Nährstoffquelle nicht mehr die Oberfläche erreicht, das nährstoffreiche Wasser nicht mehr kapillar bis in die Wurzelschicht aufsteigen kann, so treten an die Stelle der Erlen, Eschen, Eichen usw. die anspruchslosere Kiefer (Föhre) und Birke. Ihre verwesenden Reste bilden den *Übergangswaldtorf*. Auch die übrigen in den Erlenbrüchen üppig gedeihenden Pflanzen, darunter die Hypnummoose, werden unter solchen Verhältnissen allmählich verdrängt durch Gewächse, welche für den Hochmoortorf besonders charakteristisch sind; das scheidige *Wollgras* (Eriophorum vaginatum), dessen wohlerhaltene, langfaserige Reste [1]) in den tieferen und höheren Schichten der Hochmoore nesterweise auftretende Lagen („Splittlagen") von bisweilen nicht unerheblicher Mächtigkeit bilden, und ferner die *Torfmoose* (Sphagnum). Sehr häufig tritt hierzu noch eine Sumpfpflanze: die Sumpfbeise, Scheuchzeria palustris, die eine unter vielen Hochmooren liegende, gelb bis gelbbraun gefärbte, blättrig gelagerte Torfbildung, den *Scheuchzeriatorf*, liefert. Er tritt in sehr zahlreichen Fällen als letztes Übergangsglied zum eigentlichen Hochmoortorf auf

§ 66.

Der Aufbau der Hochmoore. Soweit die in besonders großem Umfang im nordwestlichen und im nordöstlichen Deutschland vorkommenden Hochmoore eingehender erforscht sind, zeigen sie im Gegensatz zu den Niederungsmoorbildungen und entsprechend der weit geringeren an ihrer

[1]) Wegen ihrer zähen, dem Torfspaten hinderlichen Beschaffenheit in manchen Gegenden als „Kuhfleisch" bezeichnet und in neuerer Zeit mehrfach zur Herstellung von Geweben verwandt.

Entstehung beteiligten Anzahl von Pflanzen (s. o.) einen sehr gleichmäßigen Aufbau.

Die natürliche Vegetation der Hochmoore. Solange ihr Wachstum noch andauert, besteht ihre Pflanzendecke vornehmlich aus Torfmoosen (Sphagnum), durchmischt mit Rasensimsen (Scirpus caespitosus), scheidigem Wollgras (Eriophorum vaginatum), Sonnentau (Drosera rotundifolia). Vereinzelt finden sich gewisse, trockneren Boden liebende Gewächse. Gemeine Heide (Calluna vulgaris), Moor- oder Glockenheide (Erica tetralix), Rosmarinheide (Andromeda polifolia), Gagelstrauch (Myrica Gale), Krähenbeere (Empetrum nigrum), Porst (Ledum palustre), Moosbeere (Vaccinium Oxycoccos), von Holzpflanzen verkrüppelte Exemplare von Kiefern und Birken. Läßt der Wasserreichtum der Oberflächenschicht aus irgendeiner Veranlassung nach [1]), so sterben die Torfmoose ab, und die letztgenannten Pflanzen, darunter vor allem die Heidekräuter, gewinnen die Oberhand. In verhältnismäßig kurzer Zeit bedeckt sich die Oberfläche mit eigentümlichen heidebewachsenen Hügelchen („Heidebulten") [2]), zwischen denen mit Moorschlamm ausgefüllte und von zahlreichen Algen, von Wollgras und Simsen bevölkerte Vertiefungen („Schlenken") liegen.

Mit der reichlichen Ansiedelung dieser Pflanzen ist das Wachstum des Hochmoors im wesentlichen abgeschlossen.

Der Hochmoortorf. Wie die Torfmoose in der Flora eines mit Wasser gesättigten Hochmoors die erste Stelle einnehmen, so sind sie auch als die vornehmsten Bildner des Hochmoortorfes anzusehen. Sie gehören hinsichtlich ihres Bedarfs an mineralischen Nährstoffen zu den anspruchslosesten Pflanzen, können daher auch auf Böden, die arm an zugänglicher Pflanzennahrung sind, sich gut entwickeln. Sie bedürfen zwar zu üppiger Entwicklung außerordentlich großer Wassermengen, sind aber vermöge

[1]) Nach dieser Richtung wirkt besonders die künstliche Entwässerung des Moores zu Kulturzwecken oder auch die Anlage von Torfstichen.

[2]) Die Entstehung der „Bulten" ist noch nicht völlig geklärt. Auch das Torfmoos bildet auf den noch im Wachsen befindlichen Hochmooren flache Hügelchen, die man früher auf ein ungleichmäßiges Wachstum der verschiedenen an der Vegetation beteiligten Sphagnumarten zurückzuführen suchte. Nach dem Botaniker der Moor-Versuchsstation, Prof. C. A. Weber, dürften sie Heidekrautsträuchern ihre Entstehung verdanken, die in trocknen Zeiten aufwuchsen und an denen in den nachfolgenden nassen Jahren die nun vorwiegenden Torfmoose „emporklimmen". Tritt eine Abtrocknung der Moorfläche ein, so bieten diese „Moosbülten" den Heidepflanzen die günstigsten Wachstumsbedingungen, sie verwandeln sich in Heidebulten, die nicht selten zu recht beträchtlicher Höhe (½—¾ m) aufwachsen und bei der Kultivierung solcher Flächen durch besondere Vorrichtungen („Bultensägen", „Bultenpflüge" beseitigt) werden müssen.

ihres eigentümlichen anatomischen Baues befähigt, aus Boden und Atmosphäre große Wassermassen aufzunehmen, festzuhalten und zur Speisung immer neuer Moosgenerationen zu verwenden. Infolge ihres schnellen Wachstums lassen sie nur wenig Pflanzen neben sich aufkommen, so vornehmlich die Wollgräser, die Rasensimse, den Sonnentau und einige andere. Auf feuchtem Waldesgrund vordringend, bringen sie dessen Holzbestand binnen kurzem zu Fall („Das Torfmoos frißt den Wald".) Selbst die für die natürliche Vegetation der Hochmoore so charakteristischen Heidepflanzen (s. o.) werden, solange die Bedingungen für die Entwicklung der Sphagnaceen besonders günstig sind (große zur Verfügung stehende Mengen nährstoffarmen Wassers), von diesen leicht völlig unterdrückt. An der Hochmoorbildung sind besonders folgende Sphagnumarten beteiligt: Sphagnum medium, Sph. fuscum, Sph. recurvum, Sph. obtusum, Sph. cuspidatum, Sph. rubellum, Sph. imbricatum, Sph. capillifolium, Sph. subsecundum. In den oberen Schichten unserer Hochmoore lassen sich die wohlerhaltenen Reste dieser zierlichen Pflanzen auch mit bloßem Auge noch deutlich erkennen. Trotz der zarten, weichen Beschaffenheit ihrer Substanz unterliegen die abgestorbenen Torfmoose sehr schwer der Zersetzung. Eine eigentliche Vertorfung ist in den jüngeren Hochmoorbildungen kaum eingetreten, und ihr *Moos„torf"* unterscheidet sich äußerlich vom *Torfmoos* fast nur dadurch, daß unter dem Druck der darüber lagernden Massen die Moosstengel und Blättchen sich zu filzartig verwebten blätterigen Schichten verdichtet haben, und daß das Blattgrün der lebenden Moose sich in einen gelb- oder rötlichbraunen Farbstoff umgesetzt hat. Der Widerstand, den die Torfmoose ihrer Vertorfung entgegensetzen, dürfte in erster Linie auf ihren anatomischen Bau zurückzuführen sein, der sie befähigt, so große Wassermengen aufzunehmen, daß selbst die am ersten der Einwirkung des Luftsauerstoffs ausgesetzten oberen Pflanzenteile möglichst wenig mit Luftsauerstoff in Berührung kommen. Erhöht wird ihre Widerstandsfähigkeit vielleicht auch durch die in ihren Zwischenräumen sich ansammelnde Kohlensäure und durch den Mangel an alkalisch reagierenden Substanzen, namentlich an Kalk, der die Entstehung freier Humussäuren zur Folge hat, sowie durch ihren Gehalt an schwer zersetzlichen Harzen und an Gerbsäure, Stoffen, die der Vermoderung entgegenwirken (S. 105).

Wird die Oberfläche des Moores so trocken, daß Torfmoose nicht mehr gedeihen können, und treten nun heidekrautartige Gewächse an ihre Stelle, so bieten die vom Wasser befreiten Moosreste dem Eindringen des Luftsauerstoffs nicht mehr genügenden Widerstand, und unter dessen Einfluß findet dann eine Humifizierung der obersten Moostorfschicht statt. Sie geht in eine schwarze, beim Austrocknen krümelig, werdende, dem bloßen Auge kaum noch geformte Teile aufweisende „*Verwitterungs-*

schicht"[1]) über, die sich scharf von dem darunterliegenden, nicht verwitterten Moostorf abgrenzt und sich allmählich mit einer von ihr äußerlich nicht zu unterscheidenden, aber Wurzel- und Stengelteilchen der Heidepflanzen enthaltenden Heideerdeschicht bedeckt.

Bei der schwierigen Vertorfbarkeit der Torfmoose bedarf es jedenfalls sehr großer Zeitraume, bis sie sich in eine amorphe, nach ihrem äußeren Ansehen dem Grastorf ähnelnde Masse umwandeln. Daß eine solche Umwandlung schließlich stattfindet, beweisen die tieferen Schichten der älteren Hochmoore, z B. im nordwestlichen Deutschland. Als älteste Hochmoorbildung findet sich hier, oft über Scheuchzeria- (s o.) oder Eriophorumtorfschichten abgelagert, ein braun bis schwarz gefärbter, dem bloßen Auge amorph erscheinender Torf, der nur noch vereinzelte Heidestengel und nicht selten nesterförmig auftretende Lager von Wollgrasresten erkennen läßt. Neuere Untersuchungen haben im Gegensatz zu früheren Anschauungen[2]) ergeben, daß auch dieser Torf im wesentlichen Torfmoosen derselben Art seine Entstehung verdankt, aus denen der uberlagernde *jüngere Moostorf* sich zusammensetzt, daß er also gleichfalls als Moostorf, und zwar als *älterer Moostorf* bezeichnet werden muß Er unterscheidet sich weniger durch seinen Gehalt an mineralischen Bestandteilen als hinsichtlich seiner äußeren Eigenschaften sehr erheblich von dem jungeren Moostorf Während der letztere, wegen seiner helleren Farbe wohl als „weißer" Torf (schwedisch. „hvitmossar") bezeichnet, im trockenen Zustand einen elastischen, porosen Stoff von sehr geringem spezifischen Gewicht darstellt, der Wasser in großen Mengen aufsaugt und festhalt[3]), bildet der altere („braune" oder „schwarze") Moostorf nach dem Austrocknen eine dichte, schwere, als Brenntorf geschatzte Masse, die vom Wasser kaum noch benetzt wird. Sie besitzt im Gegensatz zum Moostorf jungerer Bildung ein bedeutendes Kontraktionsvermögen. 1000 l älteren Moostorfs verkleinern nach Untersuchungen der Moor-Versuchs-

[1]) Auf Grund der Angaben des Göttinger Botanikers G r i e s e b a c h hielt man früher die Heidepflanzen fur die wesentlichsten Bildner dieser Schicht und nannte sie demgemäß „*Heideerde*". Nach C. A. W e b e r entsteht sie jedoch auch auf Moostorfflachen, auf denen der Heidewuchs vollig zerstört ist

[2]) Gegen die Annahme G r i e s e b a c h s, wonach die tieferen Schichten der nordwestdeutschen Hochmoore vornehmlich aus den vertorfenden Resten von Heidekrautern bestehen sollen und daher als „*Heidetorf*" zu bezeichnen seien, haben sich in neuerer Zeit gewichtige Bedenken erhoben. Sie sind von F r u h, T o l f und besonders scharf von C. A. W e b e r zum Ausdruck gebracht worden. Er unterscheidet zwischen Moostorf jungerer und alterer Bildung

[3]) Wegen dieser Eigenschaften wird der jungere, noch nicht verwitterte Moostorf zur Herstellung eines ausgezeichneten Einstreumaterials für Viehstalle verwendet („Torfstreu"). Es besitzt in hohem Maße die Fahigkeit, den tierischen Dunger vor Verlusten an wertvollen Stickstoffverbindungen zu schutzen (ihn zu „konservieren"). — Siehe M. F l e i s c h e r, Die Torfstreu (Literaturverzeichnis)

station (Fleischer, Die Torfstreu; s Literaturnachweis) beim Austrocknen ihr Volum auf etwa 175 l, 1000 l jungeren Moostorfs nur auf etwa 500 l, und ein bestimmtes Gewicht des letzteren nimmt im lufttrocknen Zustande einen 4—5 mal großeren Raum ein als ein gleiches Gewicht des ersteren.

Älterer Moostorf findet sich nicht in allen Hochmooren und besonders in den ostlichen Landesteilen (Pommern, West- und Ostpreußen) scheint er häufig zu fehlen, so daß der jungere Moostorf unmittelbar auf dem Mineralboden oder auf einer Schicht von Übergangsmoor lagert.

Die zahlreichen Poren des jungeren Moostorfes begunstigen die Ansammlung großer Mengen von Gasen, wie sie beim Vertorfungsprozeß entstehen (Kohlendioxyd, Kohlenwasserstoffe, Schwefelwasserstoff), die, leichter als Wasser, das spezifische Gewicht des Moostorfs so weit erniedrigen können, daß er von seiner Unterlage sich ablost, schwimmt und bei steigendem Wasser sich mit diesem hebt [1]).

Wo in den tieferen Schichten des Hochmoors alterer Moostorf sich vorfindet, pflegt er von der überlagernden neueren Moostorfbildung durch eine Schicht von wechselnder, aber einige Dezimeter wohl nicht übersteigender Mächtigkeit getrennt zu sein, die neben sehr wenig Torfmoosen vorwiegend die Reste von Wollgras, Heide, bisweilen auch von Nadelholzern, also von Pflanzen aufweist, die mit einem weit geringeren Maß von Feuchtigkeit auskommen als die Torfmoose [2]). Sie durfte das Erzeugnis einer lange andauernden Trockenperiode sein, während deren die fruher die Flora beherrschenden, gegen Feuchtigkeitsmangel sehr empfindlichen Torfmoose den genannten Gewächsen Platz machten [3]). Als an die Stelle der trockenen Zeiträume lange anhaltende feuchte Perioden traten [4]), wurden sie bald wieder von den uppig aufwachsenden Torfmoosen überwuchert, denen die jungere Moostorfbilung ihre Entstehung verdankt.

Der Einfluß, den das Vorhandensein großer Mengen nährstoffarmen Wassers auf die Entwicklung der Sphagnummoose ausübt, ist wahr-

[1]) Ein ausgezeichnetes Beispiel für ein derartiges schwimmendes Hochmoor bietet das *„Schwimmende Land“ von Waakhausen,* ein Teil des im Flußgebiet der Hamme (Weser) belegenen Teufelsmoores, eine bis 1½ m mächtige, mit Buschen und Baumen bestandene Moorschicht, die mit dem Hochwasser steigt und fallt, und von der bei heftigen Winden nicht selten große Stücke sich ablosen und fortgetrieben werden, wenn es nicht gelingt, durch rechtzeitig in Tatigkeit gesetzte Winden sie in die fruhere Stelle zuruckzuholen.

[2]) C. A. Weber bezeichnet diese Schicht als „Grenztorf“

[3]) Auch innerhalb des alteren und des jungeren Moostorfs finden sich stellenweise als Zeugen kurzerer Trockenperioden dünne, aus Wollgras, Heide und Holzpflanzen hervorgegangene Torfschichten (sogen. „Bultlagen“)

[4]) Griesebach bringt das Aufwachsen des jungeren Moostorfs mit einer durch zahlreiche Beobachtungen wahrscheinlich gemachten zeitweiligen Senkung der norddeutschen Küstenstriche in ursachlichen Zusammenhang.

scheinlich die Ursache einer Erscheinung, die alle geschlossenen Hochmoorkomplexe aufweisen: der oft stark *gewölbten Form* ihrer Oberfläche [1]). Während die auffallenden Niederschläge an den Rändern des über seine Unterlage emporwachsenden Hochmoors leichter Abfluß finden, befördern sie das Wachstum der Moose im Innern derartig, daß dieses bald über die Randzone emporsteigt. Die uhrglasartige Oberflächengestaltung läßt sich (nach Weber) sowohl bei der jüngeren Moostorfbildung als bei dem älteren Moostorf und dem Grenztorf erkennen.

Scheinen auch die meisten Hochmoore über Niederungsmoorbildungen aufgewachsen zu sein, so ist doch die Auflagerung eines Hochmoors unmittelbar auf mineralischem Untergrunde durchaus nicht ausgeschlossen. Die über Niederungstorf sich ansiedelnden Torfmoose ziehen sich seitlich weit über die ursprünglichen Grenzen des Moores hinaus, wenn sie in der Umgebung die geeigneten Bedingungen zu üppigem Wachstum (Ansammlung von nährstoffarmem Wasser) vorfinden. Sie überdecken den angrenzenden Heideboden, unter Umständen auch fruchtbarere Bodenarten [2]), kleine Hügel, Wälder, mit Moospolstern, und führen so eine bisweilen sehr beträchtliche peripherische Ausdehnung des Hochmoors herbei.

Auch Moorbildungen, die den Charakter des „Übergangsmoores" tragen, brauchen nicht notwendig aus Niederungsmooren hervorgegangen zu sein. Unter Umständen, die das Wachstum von niederungsmoorbildenden Pflanzen zulassen, ohne das von hochmoorbildenden auszuschließen, können sehr wohl unmittelbar über dem mineralischen Untergrund „Übergangsmoore" [3]) entstehen.

Unmittelbar auf mineralischem Untergrund lagernden Zwischen- und Hochmoortorf weisen auch manche Gebirgsmoore auf.

§ 67.

Gebirgshochmoore und Zwischenmoore. Auch auf den Gipfelplateaus und an den Abhängen von Gebirgen entstehen Moore von ganz ähnlicher Beschaffenheit, wie die soeben beschriebenen der Ebene, falls hier nur die Gelegenheit zu zeitweiligen Wasseransammlungen gegeben ist und ein schwer verwitterbares, an Pflanzennährstoffen, namentlich an Kalk nicht

[1]) Nach Sendtner läßt der nur etwa 125 ha umfassende Murner-Filz („Filz" hier gleich Hochmoor) bei Wasserburg (Bayern) eine Wölbung von mehr als 7 m Höhe erkennen.

[2]) Auf versumpften Böden treten die vielleicht in reichem Maße vorhandenen wertvollen Bodenbestandteile nicht als Nährstoffe in Wirksamkeit, s. o. Andernfalls würden die Torfmoose bald durch anspruchsvollere moorbildende Pflanzen verdrängt werden.

[3]) In diesem Fall, wo es sich nicht um den „Übergang von einer Moorart in die andere handelt, würde allerdings eine andere Bezeichnung, z. B. „Mischmoor" oder auch „Zwischenmoor", mehr am Platze sein.

reichen Boden lieferndes Gestein (z B. Granit, Gneis, Glimmerschiefer u. a.) die Unterlage bildet (So u. a. auf dem Brocken, Riesengebirge, Erzgebirge, Schwarzwald.) Für die landwirtschaftliche Benutzung kommen diese Moore nur selten in Frage, dagegen sind sie wegen ihres hohen Wasseraufsaugungsvermögens [1]) fur die Erhaltung der Vegetation an den Gebirgsabhangen insofern nicht ohne Bedeutung, als sie das auffallende Regenwasser, das von den nackten Gipfeln mit großer Gewalt in die Tiefe sturzen und den bereits gebildeten Verwitterungsboden nebst den darin wurzelnden Pflanzen mit sich reißen würde, aufsaugen [2]).

§ 68.

Die geringen Anspruche, welche die hochmoorbildenden Pflanzen an den Nährstoffgehalt von Boden und Wasser stellen, kommen in der *Zusammensetzung des Hochmoortorfes* deutlich zum Ausdruck. Er ist von Natur durchweg sehr arm an *mineralischen Bestandteilen* Sein Gesamtaschengehalt kann bis auf zwei und weniger Prozent der Torftrockensubstanz herabgehen. Der durchschnittliche *Kalk*gehalt des trocken gedachten Hochmoortorfes uberschreitet nicht 0,2% (während der durchschnittliche Gehalt der Niederungsmoorbildungen etwa auf 3 % anzusetzen ist) Damit hängt es zusammen, daß seine *Humussauren* — im Gegensatz zum Niederungsmoortorf — zum großen Teil in freiem Zustande vorhanden sind und behufs der Kultivierung dieser Moorbildungen durch Zufuhr von Kalk oder Mergel „abgestumpft“ (in Calciumhumat ubergefuhrt) werden mussen [3]). Hierdurch wird zugleich die fur den Kulturboden anzustrebende Umwandlung der schwer zersetzlichen Pflanzenteile in „milden“ Humus in auffalligem Maße gefordert [4])

Auch der *Stickstoff*gehalt des Hochmoortorfes bleibt weit hinter dem

[1]) Untersuchungen der Moor-Versuchsstation haben ergeben, daß die Wassermenge, die ein Hochmoor aufsaugt, dem Raume nach 80—85 % des Hochmoors ausmacht Denkt man sich aus einem 4 m machtigen Moor die moorbildenden festen Pflanzenreste herausgenommen, so wurde das zuruckbleibende Wasser eine 3,20—3,40 m hohe Schicht bilden

[2]) Allerdings nur zu Zeiten, wo sie selbst nicht mit Wasser gesattigt sind, also nach langer anhaltender trockener und heißer Witterung. Die Ansicht, wonach die Bergmoore in regenlosen Zeiten zur Trankung der Gebirgswaldungen dienten, indem sie das bei starken Niederschlagen aufgenommene Wasser langsam absickern ließen, hat man auf Grund der Beobachtung aufgeben müssen, daß ein Wasserabfluß aus wassergesattigtem Moor in trockener Zeit nicht stattfindet.

[3]) Auf der anderen Seite wirkt die Anwesenheit freier Sauren insofern gunstig, als sie den Hochmoorboden befahigt, die naturlich vorkommenden, schwerloslichen Phosphate „aufzuschließen“ (S. 46). Die vom Handel verhaltnismaßig billig gelieferten Rohphosphate (Phosphorite, Koprolithe) außern daher auf den Hochmoorboden eine Wirkung, die ihnen auf anderen Bodenarten nicht zukommt.

[4]) Solange der Hochmoorboden seine naturliche saure Beschaffenheit besitzt, ist er fur die meisten Kulturpflanzen unzuganglich Sie dringen mit ihren

der Niederungsmoorbildungen zurück. Während bei den letzteren ein Stickstoffgehalt der Torftrockensubstanz von 3 % nichts seltenes ist, bewegt sich der Stickstoffgehalt des Hochmoortorfes etwa um 1 %. Auch steht der Mangel an basischen Stoffen in dem letzteren einer Überführung des Torfstickstoffs in die wirksamste Form, die im Salpeter, entgegen (S. 53)

Für die *landwirtschaftliche Kultur* ist bisher im wesentlichen nur die jüngere Moostorfbildung in Frage gekommen Bei einer auf ihre Eigenschaften genügende Rücksicht nehmenden Behandlung stellt sie, besonders wegen ihres Verhaltens zum Wasser, ein für zahlreiche Acker- und Wiesengewächse sehr geeignetes Kulturmedium dar. Dagegen bietet der ältere Moostorf, besonders durch sein erhebliches Kontraktionsvermögen und seine Neigung zum Austrocknen und Rissigwerden der landwirtschaftlichen Nutzung einige Schwierigkeiten.

§ 69.

Übergang von Hochmoor in Niederungsmoor. Nach den früheren Erörterungen über die Entstehung der Hochmoor- und Niederungsmoorbildung wird man voraussetzen dürfen, daß der Übergang von einer Moorbodenart in die andere allermeist in der Weise sich vollzieht, daß ein Niederungsmoor sich allmählich zu einer Hochmoorbildung auswächst. Doch kommen auch Beispiele vor, in denen das umgekehrte stattgefunden hat. Wird z. B ein aufwachsendes Hochmoor infolge einer Senkung des Gebietes oder durch Wegräumung natürlicher Schutzwälle mit nährstoffreichem Wasser überflutet, so kann an Stelle der Torfmoose eine niederungsmoorbildende Flora treten und über dem Hochmoortorf zunächst eine Schicht von Übergangstorf und weiterhin eine Niederungsmoorbildung entstehen Letztere geht dann wieder in ein Hochmoor über, sobald infolge der Oberflächenerhöhung die moorbildenden Pflanzen dem Einfluß des fruchtbaren Wassers sich entziehen.

Über ein sehr lehrreiches Beispiel für den Übergang vom Hochmoor in Niederungsmoor und von Niederungsmoor in Hochmoor berichtet M. Fleischer nach Beobachtungen von Prof. J. R. Lorenz (Zeitschrift Flora, 46 Jahrg, 1858, Nr. 14—23) in den Mitt des. Ver. z. Förd. d. Moorkultur, Jahrg. 1909, Heft 9.

Wurzeln nur so weit in die Tiefe, als der Säureüberschuß an basische Stoffe gebunden ist. Um den landwirtschaftlichen Nutzgewächsen ein größeres Wurzelgebiet zu erschließen, hat man nach dem Vorgang der Moor-Versuchsstation neuerdings angefangen, mittels eines Untergrund-Düngepfluges auch die Untergrundschichten der Hochmooräcker zu kalken, was sich ganz besonders für Grasanlagen bewährt

Drittes Kapitel.

Die Klassifikation des Bodens und die geognostisch-agronomische Bodenkartierung.

A. Klassifikation des Bodens.

Seit langer Zeit ist man bemüht gewesen, nach gewissen, einer größeren Anzahl von Böden gemeinsamen Eigenschaften die mannigfaltigen Bodenarten in Gruppen oder Klassen zusammenzuordnen. Je nachdem man dabei diese oder jene Eigenschaften oder Merkmale als maßgebend ansah, mußte die Einteilung natürlich sehr verschieden ausfallen.

§ 70.

Einteilung nach petrographischen und geologischen Kennzeichen. Die Einteilung der Böden auf petrographischer Grundlage, d. h. nach der Art ihres Muttergesteins, wonach man z. B. zwischen „Granit-“, „Basalt“-, „Tonschieferböden“ usw. unterscheiden würde, erscheint für unsere Zwecke untauglich, weil aus gleichnamigen Gesteinen sehr verschiedenartige Böden hervorgehen können (§§ 53, 54). Desgleichen verwerfen wir ein Einteilungssystem, das sich auf die geologische Abstammung des Bodens stützt, z. B. von Buntsandsteinboden, Keuperboden, „Diluvialboden“, Alluvialboden“ spricht. Diese Bezeichnungen lassen höchstens Vermutungen über das *Alter* des Bodens zu, sagen aber nichts über dessen *Beschaffenheit* aus. Auf Buntsandstein finden sich ganz arme und wieder sehr fruchtbare Böden, „Diluvialböden“ können fast ausschließlich aus Quarzsand bestehen, aber auch große Mengen von Feldspat, Hornblende und andere ihre Fruchtbarkeit steigernde Bestandteile enthalten. Die „Alluvialböden“ umfassen den unfruchtbarsten Dünensand sowie die zu den reichsten Bodenarten gehörigen Marsch- und Aueboden[1]).

§ 71.

Einteilung der Böden nach ihrer Entstehungsart. Größere Berechtigung mit Rücksicht auf die landwirtschaftliche Bewertung der Böden zeigt eine Gruppierung der verschiedenen Bodenarten, die sich auf ihre *Entstehungs-*

[1]) Über die Berücksichtigung der Herkunft eines Bodens bei seiner Kennzeichnung s. u. Kap. V.

art, also gleichfalls auf ein geologisches Prinzip grundet, d. i. die Einteilung in *Primitiv-* oder *Verwitterungsböden* und *Derivat-* oder *Schwemmböden*. Unter „Primitiv-" oder „Verwitterungsböden" versteht man solche Bodenarten, die, unmittelbar aus dem anstehenden Gestein durch Verwitterung hervorgegangen, noch über ihrem Muttergestein lagern. Soweit sie kristallinischen Urgesteinen ihre Entstehung verdanken, kann man sie als *Verwitterungsböden der Urgesteine*, falls sie sich auf sedimentaren Gesteinen bildeten, als *Verwitterungsböden der Sedimentargesteine* bezeichnen. „*Derivat-*" oder „*Schwemmböden*" nennt man die Bodenarten, die, durch irgendwelche Umstände, namentlich durch Wasserkraft oder auch durch Eis oder durch den Wind von dem Ort ihrer Bildung fortgeführt, auf fremder Gesteinsunterlage sich abgelagert haben.

Beide Bodengruppen weisen hinsichtlich ihrer natürlichen Beschaffenheit gewisse Unterschiede auf, die fur ihre landwirtschaftliche Beurteilung von Bedeutung sind. Die „Primitivböden" befinden sich noch im Anfangsstadium der Gesteinsumwandlung. In verhältnismäßig geringer Tiefe liegt das noch unverwitterte feste Muttergestein, sie sind daher meist flachgründig und enthalten selbst noch vielfach grobere, nicht oder wenig verwitterte Gesteinselemente. Dies ist namentlich der Fall bei dem Verwitterungsboden der Urgesteine, weniger bei denen der Sedimentärgesteine, die ja nichts anderes sind als die wieder verharteten Produkte einer durchgreifenden Verwitterung der Urgesteine und der Verschwemmung der mehr oder weniger stark veränderten Gesteinselemente Sie sind meist weniger hart als die ursprünglichen Massengesteine, auch erleichtert ihre Schichtung oder Schieferung den Zerfall zu erdiger Masse. Die „Schwemmboden" haben vor ihrer Ablagerung bereits einen Transport durchgemacht, bei dem die gröberen, festen Gesteinstrümmer zu feinem Sand und Schlamm zerrieben wurden. Sie besitzen, soweit sie sich noch nicht wieder zu festem Gestein verhärtet haben, meist bis auf große Tiefe hin, bis auf das Gestein, uber dem sie sich ablagern, von vornherein mehr den Charakter eines fertig gebildeten und tiefgründigen Bodens. Während aber die Verwitterungsböden durch ihre ganze Masse hindurch verhältnismäßig *gleichformig* zu sein pflegen, ist eine Gleichartigkeit der verschiedenen Schichten bei den Schwemmböden weniger zu erwarten, weil bei ihrer Entstehung Ton, Sand, Geroll u. a. in je nach ihrem spezifischen Gewicht wechselnd sich abgesetzt haben [1])

[1]) Ein gleicher Prozeß ging auch bei der Bildung der sedimentären Gesteine vor sich (§ 38), die ja nichts anderes sind als wieder zu Gestein erharteter Boden. Jedoch hat hier unter der Last der uberlagernden Wasser- und Gesteinsmassen allermeist wieder eine Vermischung der verschiedenartigen Bestandteile stattgefunden. Es pflegen daher die Verwitterungsboden der Sedimentärgesteine hinsichtlich ihrer Gleichartigkeit zwischen denen der Urgesteine und den Schwemmböden zu stehen.

So schätzenswerte Anhaltspunkte hiernach die aus der verschiedenen Entstehungsart sich ergebenden Merkmale für manche zu erwartenden Eigentümlichkeiten der verschiedenen Bodenklassen liefern, so reichen sie doch nicht entfernt zur Kennzeichnung ihrer landwirtschaftlich wichtigen Eigenschaften aus. Können doch nach ihrer ganzen Bildungsart Verwitterungsböden aus sedimentären Gesteinen den Schwemmböden hinsichtlich ihrer Zusammensetzung durchaus gleichartig sein. Und umgekehrt weisen die „Verwitterungsböden" ebenso wie die „Schwemmböden" untereinander in ihren Eigenschaften so gewaltige Verschiedenheiten auf, daß diese Bezeichnungen auf den landwirtschaftlichen Wert jener Bodenarten kaum einen Schluß zulassen. Soll eine Klassifikation der landwirtschaftlichen Beurteilung zu Hilfe kommen, so muß sie sich auf Eigenschaften stützen, die für die landwirtschaftliche Verwertung des Bodens von Bedeutung sind. Diesem Anspruch scheinen bei oberflächlicher Betrachtung am meisten die Gruppierungen zu entsprechen, die man als

§ 72.

Ökonomische Einteilungssysteme zu bezeichnen pflegt. Sie richten sich zum Teil nach den *Fruchtgattungen*, die auf den verschiedenen Böden gut oder weniger gut gedeihen, und teilen die letzteren z. B. ein in „guten", „mittleren", „geringen", „Weizen-", „Gerste-", „Roggen-" usw. Boden oder auch in „kleefähigen" und „nicht kleefähigen" Boden, zum Teil nach den *Kornerträgen*, indem man unterscheidet zwischen Böden, die das Dreifache, Vierfache, Fünffache usw. der Aussaat bringen, zum Teil nach den verschiedenen *Geldroh-* oder *Geldreinerträgen* der einzelnen Bodenarten. Der in irgendeiner Weise ermittelte Reinertrag ist dem Bodenbewertungssystem zugrunde gelegt, das seitens des preußischen Staates und anderer Länder zum Zweck der Grundsteuerveranlagung benutzt wird [1]). Es ist aber leicht einzusehen, daß alle derartigen Systeme mehr

[1]) Das Preußische Gesetz vom 21. Mai 1861 (betr. die anderweitige Regelung der Grundsteuer) setzt folgendes fest: In jedem landrätlichen Kreise oder, falls dieser erhebliche Bodenverschiedenheiten aufweist, in den innerhalb des Kreises angenommenen „Klassifikationsdistrikten" wird der vorhandene Grund und Boden je nach der Kulturart eingeteilt in:

Ackerland, Gärten, Wiesen, Weiden, Holzungen, Wasserflächen und Ödland.

In jedem Kreise oder Klassifikationsdistrikt wird, ganz unabhängig von den übrigen Kreisen und Distrikten, das Ackerland je nach seinem Kapitalwert oder der Höhe seines Reinertrages in nicht mehr als 8 Bodenklassen eingeteilt. Als Reinertrag wird die Summe (ausgedrückt in Silbergroschen für den Morgen) angesehen, die nach Abzug der Bewirtschaftungskosten (inkl. der Zinsen für Gebäude- und Inventarienkapital) bei gewöhnlicher Bewirtschaftungsweise nach dem Urteil ortskundiger, landwirtschaftlicher Sachverständigen jährlich von der fraglichen Fläche dauernd erzielt werden kann.

Da die Einschätzung in jedem Kreise und Distrikt ganz selbständig erfolgt,

versprechen, als sie halten können, weil sowohl die Art der anbaufähigen Früchte als die von ihnen zu erwartenden Material-, Roh- und Reinerträge nicht bloß durch die Art des Bodens, sondern sehr wesentlich auch durch das Klima, die Art des Wirtschaftsbetriebes und durch die mannigfachsten wirtschaftlichen Verhältnisse bedingt werden.

Auch die von manchen vorgeschlagene und befürwortete Einteilung der Böden nach ihrer *natürlichen Vegetation* (die nach vielen Beobachtungen auf die Anwesenheit gewisser wichtiger Pflanzennährstoffe im Boden hindeuten kann) würde bei dem jetzigen Stande unserer Erkenntnis in hohem Grade unsicher sein, weil neben der Bodenbeschaffenheit noch viele andere Faktoren auf die Ansiedlung dieser oder jener Pflanzen hinwirken.

§ 73.

Die Klassifikation auf physikalisch-chemischer Grundlage. Von der Erkenntnis ausgehend, daß der landwirtschaftliche Wert eines Bodens in erster Linie von den an seiner Zusammensetzung beteiligten Stoffen abhängt, hat schon Albrecht Thaer, der Begründer der Landbauwissenschaft, je nach dem Vorwalten gewisser für die landwirtschaftliche Benutzung besonders wichtiger Gemengteile die Böden in folgende Gruppen eingeteilt: „*Tonböden*“, „*Lehmböden*“, „*sandige Lehm-*“ und „*lehmige Sandboden*“, „*Sandböden*“, „*humose Böden*“, „*Kalkböden*“[1]) Wenn auch derartige Systeme mit allen Versuchen, Naturgegenstände zu klassifizieren,

so brauchen natürlich die in einem Kreise festgesetzten Bodenklassen durchaus nicht mit den entsprechenden Bodenklassen eines anderen Kreises gleichwertig zu sein. So erzielt z B ·

	die Bodenklasse	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
im Kreise										
Kreuznach	einen Reinertrag von	330	270	210	150	90	43	21	12	Sgr.
Lübben	„ „ „	108	90	81	54	30	21	9	3	„

[1]) Thaer unterscheidet innerhalb der einzelnen Bodenarten, je nach den die Ertragsfähigkeit bestimmenden Verhältnissen (Bodenbestandteile, Tiefe der Ackerkrume und des Untergrundes, Klima, Lage u. a.), verschiedene Bodenklassen, deren Brutto- und Reinerträge in ¼ Scheffel (= X) ausgedrückt werden. Die Differenz zwischen beiden Zahlen gibt die Höhe der Bewirtschaftungskosten. Seine Klassifikation ist die folgende:

Bodenart I: *Tonboden.*

		Bruttoertrag auf den Morgen	Reinertrag auf den Morgen
Kl. 1.	Schwarzer Klei-, fetter Weizen-Marsch-Polderboden	75 X	48 X
„ 2.	Starker Weizenboden	50 „	26 „
„ 3.	Schwacher Weizen-, zäher Letten-, träger, kalter Lehmboden	36 „	12 „
„ 4	Magerer Weizen-, kalter Haferboden, Bergboden		0—3—6 X

den Übelstand gemein haben, daß sich zwischen den einzelnen Abteilungen zahlreiche Übergangsgebilde finden, wenn ferner auch die in eine Klasse zusammengeworfenen Böden nicht selten sehr verschiedenen landwirtschaftlichen Wert besitzen, und endlich die als Merkmale für die verschiedenen Bodenklassen aufgeführten Gemengteile *für sich allein* noch nicht den größeren oder geringeren Bodenwert bestimmen, so hängt dieser doch unzweifelhaft unter sonst gleichen (klimatischen, wirtschaftlichen und anderen) Verhältnissen in erster Linie von einem größeren Reichtum des Bodens an den Stoffen ab, die in dem T h a e r schen System Berücksichtigung gefunden haben[1]) In enger Anlehnung an das letztere und in wesentlicher Übereinstimmung mit dem Bodenklassifikationssystem das bei der geognostisch-agronomischen Kartierung (s. u.) des norddeutschen Flachlandes durch die Königlich Preußische Geologische Landesanstalt zur Anwendung kommt, teilen wir die Bodenarten ein in:

Bodenart II: *Lehmboden.*

Kl 1.		46 X	26 X
„ 2.		36 „	18 „
„ 3		38 „	21 „

Bodenart III. *Sandiger Lehm- und lehmiger Sandboden,* schwarzer Gersten und trockener Haferboden.

Kl 1.	Sandiger Lehmboden	32 X	16 X
„ 2	Ebenso, aber tadelhaft in einzelnen Punkten	24 „	10 „
„ 3	Lehmhaltiger Sandboden	20 „	8 „
„ 4	Ebenso, aber ungünstiger	16 „	6 „

Bodenart IV: *Sandboden* Drei- und sechsjähriges Roggenland (Ertrag mit Rücksicht auf Weidewert.)

Kl 1	Nach Ruhe 5 Scheffel Roggen	— X	4 X
„ 2	„ „ 4 „ „	— „	3 „
„ 3.	„ „ 3 „ „	— „	2—1 X

Bodenart V: *Humoser Boden*

Kl. 1.	Milder, schwarzer Gerstenboden, Aueboden	30 X
„ 2	Schwarzer Niederungs-Roggenboden oder schwarzer Haferboden	18 „
„ 3	Saurer Niederungsboden	8—12 X
„ 4.	Mooriger Boden	?

Bodenart VI: *Kalkboden.*

Wird, weil aus eigener Anschauung nicht bekannt, nicht näher erörtert.

[1]) Ein von W. K n o p in seinen Grundzügen entworfenes, aber noch nicht genügend entwickeltes System auf rein chemischer Grundlage teilt die Böden in die *Familie der Silikatböden* (Tonerdesilikat-, Eisenoxydsilikat-, Monoxydsilikatboden und Sand- oder kieselsaure Boden), die *Familie der Karbonatboden* (Kalk- und Dolomitboden) und die *Familie der Sulfatboden* (Gips- und Anhydritboden). Je nach dem Gehalt an den verschiedenen Bestandteilen soll dann die weitere Einteilung erfolgen.

Steinböden, Sandböden, Lehmböden, Tonböden, Kalkböden, Humusböden und Moorboden [1]).

Bei den Moorböden unterscheiden wir als Untergruppen die *Hochmoorböden*, die *Niederungsmoorböden* und die *Übergangsmoorböden* (s. S. 115).

B. Die geognostisch-agronomischen Bodenkarten.

Während die frühere geologische Landesaufnahme, hervorgewachsen aus rein wissenschaftlichen und aus bergbaulichen Interessen, fast ausschließlich das *Gebirgsland* behandelte, war die im Jahre 1873 begründete Königlich Preußische Geologische Landesanstalt von Anfang an bestrebt, durch eine geognostisch-agronomische Kartierung auch des *Flachlandes* zugleich den Bedürfnissen der Land- und Forstwirtschaft Rechnung zu tragen.

§ 74.

Zweck der Karten und Art der Darstellung. Die geognostisch-agronomischen Karten sollen nicht bloß die *Gesteins*zusammensetzung [2]) auf dem dargestellten Landesabschnitt, dessen „*petro*graphischen "Charakter, sondern gleichzeitig seine „*pedo*graphische" (agronomische) Beschaffenheit, also die durch chemische und mechanische Analyse ermittelte Zusammensetzung seiner äußersten Verwitterungsrinde, d. i des *Bodens*, zur Anschauung bringen und so die Grundlage fur seine landwirtschaftliche und forstliche Bewertung liefern.

Zur Herstellung der Bodenkarten werden die Meßtischblatter [3]) der topographischen Abteilung des Preußischen Generalstabes im Maßstab von 1 : 25 000 der naturlichen Größe benutzt. Jede Karte umfaßt ein Gebiet von 2¼ Quadratmeilen (ca 12 700 ha) Die Gebiete der verschiedenen zutage liegenden Gesteinsschichten oder der aus ihnen hervorgegangenen Bodenarten des Flachlandes — es kommt hier fast ausschließlich die Quartärformation in Betracht — werden durch Linien („geologische Grenzen") umzogen, und ihre Zugehörigkeit zu dieser oder jener Formation durch gewisse Grundfarben sowie durch eingetragene

[1]) Gewöhnlich (auch bei den Aufnahmen der Geologischen Landesanstalt) werden die Moorboden den „Humusböden" zugerechnet. Sie nehmen jedoch sowohl nach ihrer Entstehungsweise als nach ihren Eigenschaften eine gesonderte Stellung ein (Siehe S. 218 Anm)

[2]) Der Ausdruck „Gestein" (wie auch „Gebirge", „Gebirgsart") bedeutet im geognostischen Sinn nicht nur festen Stein, Fels, sondern jeden, auch den lockeren, losen, erdigen Teil der Erdrinde.

[3]) Die durch Druck vervielfaltigten, mit dem Meßtisch, einem Feldmeßapparat, hergestellten Gelandeaufnahmen („Meßtischplatten"). Die Niveauunterschiede im Gelande sind auf den Meßtischblattern durch Höhenlinien und eingeschriebene Zahlen zur Darstellung gebracht,

schwarze Buchstaben („Formationszeichen") gekennzeichnet.
(s. den beigegebenen Kartenausschnitt[1]), Tafel I und II die

des Alluviums . . .	weiße Grundfarbe und das Formationszeichen					
des oberen Diluviums und zwar						
des Taldiluviums .	blaßgrüne	,,	,,	,,	,,	∂ a
des Höhendiluviums	blaßgelbe	,,	,,	,,	,,	∂
des unteren Diluviums	hellgraue	,,	,,	,,	,,	d.

Die *petrographische* Beschaffenheit der Formationsabteilungen wird durch Zusammenstellung der Formationszeichen mit gleichfalls schwarzgedruckten lateinischen Buchstaben kenntlich gemacht; z. B. bedeuten (s Tafel II) die „Symbole" a s, a s l, a k, a h, a t (dem Alluvium angehörigen) Sand, Schlick, Kalk („Wiesenkalk", § 38, 4), Humus, Torf, ∂ m oberen, d m unteren Diluvialmergel, ∂ s oberen, d s unteren Diluvialsand usw Die gleichen Zeichen finden sich bei den auf den Kartenrändern angebrachten Farbenerklärungen.

Außerdem aber werden die petrographischen Unterschiede und damit zugleich die verschiedenen *Hauptbodengattungen* innerhalb der einzelnen Formationsabteilung durch besondere, fur die verschiedenen Formationen gleichartige Signaturen meist in einem dunkleren Ton der geologischen Grundfarbe zusammengefaßt, und zwar die *Sand*boden durch Punktierung[2]), die *Grand*böden durch Ringelung, die *Stein*böden durch Kreuzchen, die *tonigen* Boden durch wagerechte oder senkrechte, die *Geschiebemergel* durch schräge Reißung, die *Tone*, *Lehme* und *lehmigen* Boden durch schräge Schraffierung, die *Humus-* und *Moor*böden durch kurze Strichelung, die *Kalk*böden durch blaue Schraffierung (s. d. Karte).

§ 75.

Um auch den Charakter der *tieferen Bodenschichten* und die *Grundwasserverhaltnisse* auf den Karten zum Ausdruck bringen zu können, wurden bei der agronomischen Aufnahme zahlreiche Handbohrungen, fruher bis auf 1,5 m, in neuerer Zeit bis auf 2 m Tiefe, ausgeführt (für jedes Blatt etwa 2000 m und daruber), deren Anordnung aus einer besonderen Bohrkarte hervorgeht Gehören die in der Bohrtiefe enthaltenen Schichten mehreren Formationen an, so deutet die Grundfarbe stets die geologische Zugehorigkeit der *oberen* Schicht an (falls diese nicht außer-

[1]) Der Kartenausschnitt ist dem von Dr. H. Gruner geognostisch und agronomisch bearbeiteten Blatt Lohm (Gradabteilung 43 Nr 12) entnommen

[2]) Die staubfeinen (Mergel- und Schluff-) Sande durch sehr feine, die mittel- und grobkornigen durch lichter gestellte, gröbere Punktierung.

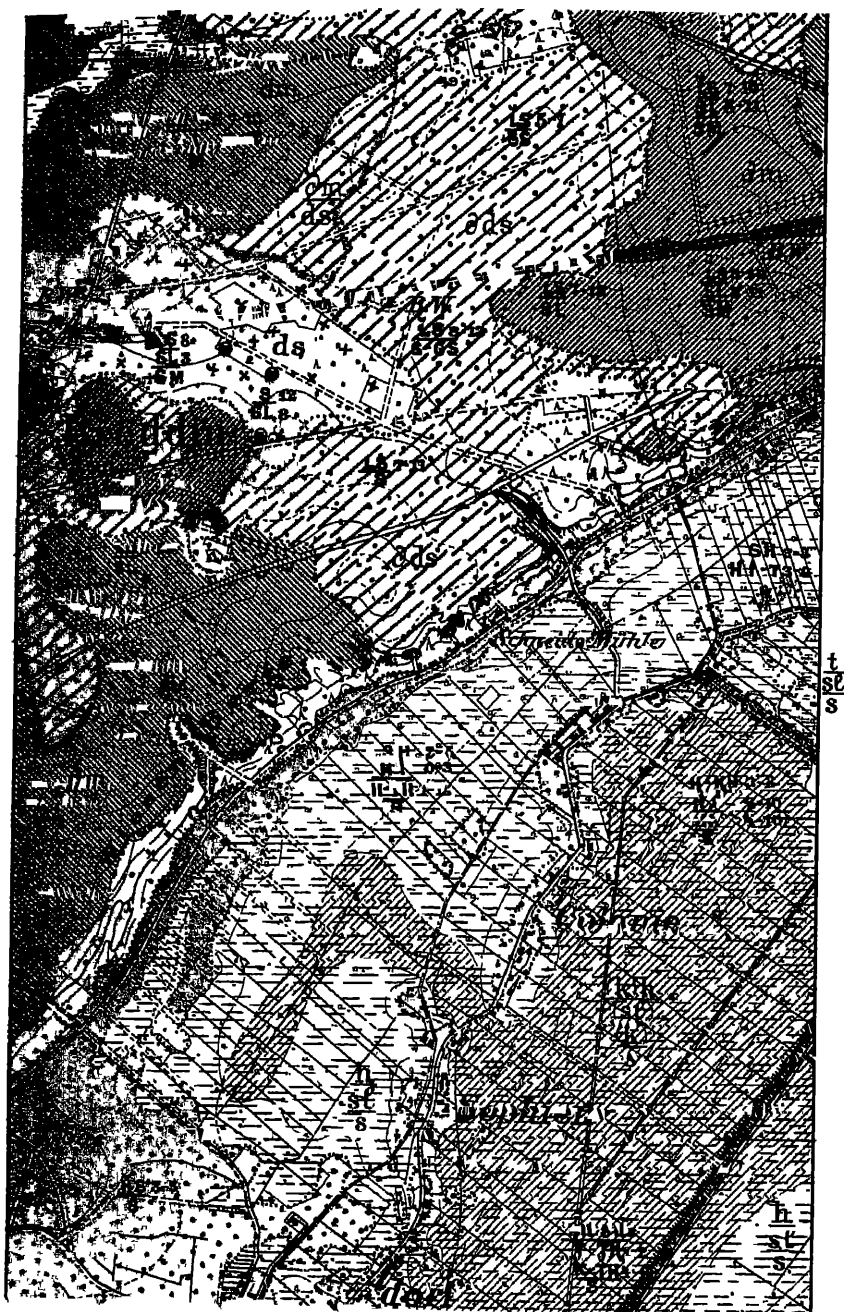
ordentlich dünn ist oder nur eine „Durchtränkung" der eigentlich obersten Schicht mit Elementen einer anderen Formation, z. B. mit Humus, darstellt). In die Grundfarbe werden dann die den verschiedenen Formationen beigelegten Signaturen in der Art eingetragen, daß die Signatur der unteren Schicht hinter die der oberen zurücktritt, daß z. B., wenn Sand unter Moor liegt, die Strichelung die Punktierung überwiegt. Auch die aufgedruckten Symbole lassen die Aufeinanderfolge mehrerer geologischer Schichten hervortreten, und zwar dadurch, daß sie, durch Striche getrennt, untereinander gesetzt werden. So bedeutet der Ausdruck $\frac{\partial m}{d s}$, daß unter oberem Diluvialmergel unterer Geschiebesand liegt, der Ausdruck $\frac{a s}{\frac{a t}{\partial m}}$, daß oberer Geschiebemergel von alluvialem Torf und dieser von alluvialem Sand überlagert wird. In einem dem Erläuterungsheft zur Karte angefügten *Bohrregister* wird die agronomische Beschaffenheit der durchteuften Schichten durch Buchstaben und andere Zeichen [1]), ihre Mächtigkeit durch Zahlen angegeben, die immer Dezimeter bedeuten, z. B.:

Teil der Karte [2])	Bohrloch Nr.	Bodenprofil	
I A	8	Ǩ Š H 3 ————— S 17	Unter einer 3 dm mächtigen, schwach kalkhaltigen und schwach sandigen Humusschicht liegen (mindestens) 17 dm grob- und feinkörnigen Sandes.
oder II C	66	H̄ 𝔖 T 2 ————— E 𝔖 T 2 ————— S 16	Unter 2 dm stark humosen, sandigen (Sand unter 0,2 mm Korngröße) Tones folgen 2 dm eisenschüssigen, sandigen (wie oben) Tones, darauf (mindestens 16) dm Sand (Korngröße über 0,2 mm).
	usw.		

In den Karten selbst werden die auf einer größeren Fläche ermittelten Minimal- und Maximalzahlen für die Mächtigkeit der einzelnen Bodenbildungen in Rotdruck an einer Stelle eingetragen, die im Mittelpunkt der betreffenden Fläche steht. Gehören die *tieferen* Schichten einer anderen Formation oder Formationsabteilung an, als die Grundfarbe des Karten-

[1]) Jedem Bohrregister geht eine Erklärung der benutzten Buchstaben und Zeichen voraus, wonach z. B. S Sand, G Grand, L Lehm, T Ton, M Mergel, K Kalk, H Humus, S L sandigen Lehm, S K H sandigen kalkhaltigen Humus usw. bedeutet.

[2]) Die Bohrkarten sind, um die Auffindung jeder Bohrstelle zu erleichtern, in 4 × 4 annähernd quadratische Felder geteilt, die in bekannter Weise durch Zahlen und Buchstaben kenntlich gemacht werden.

Verlag von Paul Parey in Berlin, SW, Hedemannstr 10

BODEN PROFILE.

Humus-u. Kalkboden.

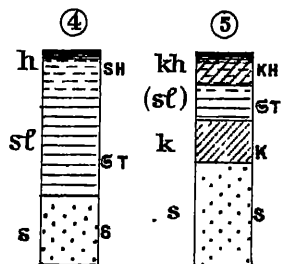
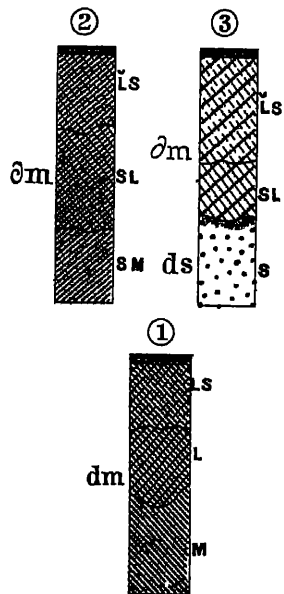
④ h, sℓ, s — SH, ST, S

⑤ kh, (sℓ), k, s — KH, ST, K, S

Lehmboden

② ∂m — LS, SL, SM

③ ∂m, ds — LS, SL, S

① dm — LS, L, M

FARBEN-BEZEICHNUNG.

GEOGNOSTISCH. AGRONOMISCH

ALLUVIUM.

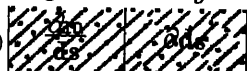
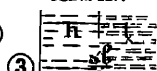
Das Formationszeichen a ist in den übrigen Theilen der Karte weggelassen

Geognostisch	Zeichen	Agronomisch
Torf.	⑦ at	Humus (Torf) mit Torf-Untergrund und nahem Grundwasser
Moorerde.	⑥ ah	Nur in Uebereinanderfolge vorkommende Bildungen
Moormergel	⑧ akh	

DILUVIUM

Geognostisch	Zeichen	Agronomisch
Thalsand im Hauptthale	∂as ⑤	Sand und schwach humoser Sand mit durchlassigem Sand-Untergrund und meist nicht tiefem Grundwasser.
Thalsand bezw. Sand der Rinnen und Becken in der Hochfläche	∂as ④	Sand und schwach humoser Sand mit durchlässigem Sand-Untergrund (meist trocken)
Oberer Diluvialmergel (Geschiebemergel) einschliesslich seiner lehmig sandigen Verwitterungsrinde	∂m ③	Lehmiger Sand über schwer durchlässigem Lehm-Untergrund, in der Tiefe Mergel
Unterer Diluvialsand (Spathsand)	ds ②	Sand mit durchlassigem Sand-Untergrund (meist trocken) mit Geschiebebestreuung
Unterer rother Diluvialmergel (Geschiebemergel) einschliesslich seiner lehmig sandigen Verwitterungsrinde	dm ①	Lehmiger Sand über schwer durchlässigem Lehm-Untergrund in der Tiefe Mergel

Uebereinander bezw. mit Einlagerungen vorkommende Bildungen

	des Diluvium		des Alluvium	
OberKrume:	Reste d. Unter rothen bezw. Ober Dil. Mergels Schwach lehmiger Sand u. lehmiger Sand		Moorerde bezw. Torf	Moormergel nesterweise.
über	① ∂m / ds	∂as ②	③ h / sℓ / s	kh
Untergrund:	Sandigem Lehm (Mergel) u. Sand.	Sand.	Thon und Sand	Thon u. Kalk nesterweise u. Sand.

Verlag von Paul Parey in Berlin, SW, Hedemannstr. 10

teils für die oberen Schichten angibt, so wird dies durch Einzeichnung einzelner Bohrlochkreise von der Farbe der betreffenden Formationen kenntlich gemacht

Auf dem rechten Rande jeden Blattes finden sich die Erklärungen der in der Karte verwendeten Farben und geognostischen und agronomischen Zeichen („Farbenbezeichnung"), auf dem linken Zeichnungen der für die aufgenommene Gegend charakteristischen Bodenprofile, nach Bodengattungen geordnet Der untere Rand enthält eine graphische Darstellung der daselbst übereinander oder zwischeneinander vorkommenden Bildungen (s Tafel II)[1].

§ 76.

Das Kartenlesen. Mit Hilfe der vorstehenden und der auf der Karte selbst (Tafel II) gegebenen Erläuterungen dürfte es nicht schwer sein, aus der Bodenkarte (Tafel I) den geognostischen und den agronomischen Charakter der dargestellten Gegend herauszulesen.

Die durch die Karte dargestellte Landschaft scheidet sich in zwei scharf voneinander abgesonderte geognostische Gebiete Das nordwestliche gehört nach seinen grauen, gelben und grünen Grundfarben dem *Diluvium*, das südostliche nach seiner weißen Grundfarbe dem *Alluvium* an

Unter den diluvialen Bildungen auf dem nordwestlichen Kartenteil ist zunächst der *untere Diluvialmergel* („unterer Geschiebemergel"), das Produkt der älteren Eiszeiten (§ 37), südlich und nördlich der Ortschaft Breddin leicht erkennbar an der hellgrauen Grundfarbe und an der Bezeichnung d m (s Farbenbezeichnung ① Tafel II), die dunklere Reißung deutet den lehmigen oder tonigen Charakter der oberen Schicht an Die Bohrungen auf dem übrigen Teil des Geländes zeigen, daß er oder der aus ihm hervorgegangene Geschiebesand (d s) sich auch im Untergrunde der jüngeren hier vertretenen Diluvialbildungen findet. Nach den in die Karte eingetragenen agronomischen (roten) Buchtsabenzeichen und nach der Profildarstellung ① Tafel II besteht er in seiner oberen 5—13 dm mächtigen Verwitterungsschicht aus lehmigem Sand (L S) oder schwach lehmigem Sand (L̆ S) Darauf folgt nach der Tiefe zu Lehm (L) oder sandiger Lehm (S L), und darunter wurde nördlich von Breddin Mergel (M) oder sandiger Mergel (S M) angetroffen.

Unmittlebar nördlich von Breddin, ferner in einigen Inseln in nordöstlicher und östlicher Richtung von Breddin sowie in einem langen,

[1]) In den obigen Erläuterungen konnten nur die wichtigsten Bezeichnungen des sinnreichen Systems berührt werden, welches bei der geologisch-agronomischen Kartierung der Geologischen Landesanstalt sich allmählich herausgebildet hat. Einen eingehenderen Einblick erhält der Leser durch das Studium der höchst übersichtlichen und klaren Darlegungen von K. Keilhack (Siehe Literaturnachweis.)

schmalen, fast an der Grenze von Alluvium und Diluvium sich hinziehenden Streifen tritt der untere Diluvialsand oder Spatsand (S. 63) zutage, eine Ablagerung der Interglazialzeit, kenntlich an der hellgrauen Grundfarbe mit dunkelgrauen Punkten und dem Zeichen d s. Die in die Karte eingetragenen Bohrlochkreise ○ und Nachgrabungszeichen ◗ (mit dem Gepräge des Diluvialmergels) und die Farbenbezeichnung ⑨ Tafel II sowie die in die Karte eingetragenen agronomischen (roten) Buchstaben und Zahlen lassen erkennen, daß schon bei Handbohrungen und Grubenanlagen unter einer 8—12 dm mächtigen Sandlage sandiger Lehm und sandiger Mergel, Glieder des unteren Diluvialmergels, aufgefunden wurden.

Bei Breddin und in der nordöstlichen Ecke des Blattes liegt der *obere Diluvialmergel* („oberer Geschiebemergel") an der Oberfläche, bezeichnet durch hellgelbe Grundfarbe mit dunkelgelber, enger, schräger Schraffierung von rechts nach links (s Farbenbezeichnung ⑧ Tafel II) und die Buchstaben ∂ m. Nach den agronomischen Eintragungen in die Karte und dem Profil ⑨ Tafel II besteht er in seiner oberen (Verwitterungs-) Schicht aus lehmigem oder schwach lehmigem Sand (3—13 dm), der nach unten in sandigen Lehm und stellenweise weiter in sandigen Mergel übergeht. An manchen Stellen, kenntlich gemacht durch die gleiche Grundfarbe mit dunkelgelber, weiter Schraffierung und das Zeichen $\frac{\partial\, m}{d\, s}$, findet sich der Mergel nur noch in einzelnen Überresten, und die Hauptmasse besteht dann nur noch aus Lehm und lehmigem Sand, der unmittelbar auf dem unteren Diluvialsande aufliegt (s Profil ⑧ Tafel II und Bez ① daselbst, auf dem unteren Kartenrand), oder die Verwitterung ist noch weiter vorgeschritten, der Kalk völlig, der Lehm zum größten Teil fortgespült, so daß von dem ursprünglichen Geschiebemergel nur noch lehmiger und schwach lehmiger Sand zurückgeblieben sind. Die betreffenden Flächen sind mit hellgrauer Grundfarbe, dunkler, weiter, schräger Schraffierung und mit eingestreuten, dunkelgrauen Punkten sowie mit dem Zeichen ∂ d s versehen (s auch ⑨ Tafel II, unterer Kartenrand). Auch hier weisen zwei mit dem Gepräge des unteren Diluvilamergels eingetragene Bohrlochkreise (unter dem Wort Breddin) darauf hin, daß Handbohrungen noch den unteren Geschiebemergel erreichten Aus den agronomischen Zeichen erkennt man, daß die oberste Schicht dieses Bodens aus lehmigem oder schwach lehmigem Sand (3—13 dm), im Gemenge mit Steinen (worauf die Kreuzchen hindeuten), die tiefere aus Sand oder Grand (G) besteht. In der nordwestlichen Ecke des Blattes befindet sich eine kleine, dem Alluvium angehörige Fläche (weiße Grundfarbe), die von einem jüngeren Gliede des Diluviums, dem *Talsand*, eingeschlossen wird. Letzterer wird durch hellgrüne Grundfarbe bezeichnet Die eingestreuten Punkte zeigen an, daß es sich um Sand *hochgelegener* Becken und Rinnen handelt,

um den am Schluß der Diluvialzeit von den Höhen herabgeschwemmten und in den von den Schmelzwässern ausgehöhlten Vertiefungen abgesetzten Sand Nach der Farbenbezeichnung ④ Tafel II besteht der Alluvialboden aus reinem oder schwach humosem, meist trockenem Sand mit durchlässigem Sanduntergrund.

Größeren Umfang nimmt in der dargestellten Gegend die jüngste Diluvialbildung, der von den Schmelzwässern der Gletscher der letzten Eiszeit in die *Niederungen* geführte und hier zum Absatz gekommene *Talsand* ein (blaßgrüne Grundfarbe mit eingestreuten dunkelgrünen Punkten [∂ a s], wie er in der südwestlichen Ecke des Kartenblattes auf größerer Fläche zutage liegt und sich von hier in einem schmalen Streifen als „Vorterrasse" der Diluvialgebilde in nordöstlicher Richtung über das ganze Blatt hinwegzieht, auch in kleinen Inseln aus dem Alluvium hervorragt). Nach der Farbenbezeichnung ⑤ Tafel II und dem in die Karte eingetragenen agronomischen Zeichen besteht der Boden an der Oberfläche aus reinem oder schwach humosem Sand, mit durchlässigem Sanduntergrund und meist nicht tiefem Grundwasserstand

Der südöstliche Teil der Karte, der ausschließlich aus *Alluvialboden* besteht, ist leicht zu verstehen. Überall liegt, wie die einfache oder doppelte Strichelung andeutet, an der Oberfläche entweder Moorerde (a h) oder Torf[1]) (a t) (s die Farbenbezeichnung ⑥ und ⑦ Tafel II); beide werden unterlagert von schlickhaltigem Sand $\frac{\text{a s l}}{\text{a s}}$ (s die Bezeichnung ③ Tafel II am unteren Rande der Karte). Letzterer bildet das vermittelnde Glied zwischen dem Talsand des oberen Diluviums und dem Schlick des Alluviums Wie die agronomischen Eintragungen in die Karte und das Profil ④ Tafel II erkennen lassen, liegen hier unter einer 2—5 dm starken Schicht von sandigem Humus Ton oder humoser Ton, darunter bisweilen wieder reiner oder tonhaltiger Humus (H—T H), in größeren Tiefen Sand

Die blaue, schräge, unterbrochene Schraffierung auf einem großen Teil der Alluvialfläche deutet das Vorhandensein von Moormergel (§ 33, 5 d) a k h (s Farbenbezeichnung ⑧ Tafel II) an. Die geognostische Bezeichnung

$$\frac{\text{(k h)}}{\frac{\text{(s l)}}{\frac{\text{(k)}}{\text{s}}}}$$

in der Karte und am unteren Kartenrand Tafel II ④ (das Formations-

[1]) Als „Moorerde" werden hier die unter dem Einfluß größerer Entwässerung und Durchlüftung bereits stärker zersetzten, als „Torf" die bei mangelndem Zutritt des Luftsauerstoffs noch wenig zersetzten, faserigen, sperrigen, pflanzlichen Bodenbildungen angesehen Torf findet sich auf der Karte nur auf einer kleinen Fläche nordöstlich von dem blau schraffierten, zur Kolonie Sophiendorf gehörigen Gebiet

zeichen a ist fortgelassen) mit ihren eingeklammerten Buchstaben zeigt an, daß auf der betreffenden Flache der Mergel in der oberen Schicht sich nur *nesterweise* vorfindet, daß ebenso in den tieferen Schichten Schlick und Wiesenkalk *nesterweise*, Sand uberall angetroffen wird Die agronomischen Zeichen sind namentlich mit Hilfe des Profils ⑤ Tafel II leicht verständlich.

§ 77.

Die Vorteile, die bei eingehendem Studium die geognostisch-agronomischen Karten dem Landwirt, Forstwirt und dem Kulturtechniker gewähren konnen, sind zahlreich Sie geben schnell einen Überblick über die Bodenbeschaffenheit eines großeren Gebietes und lassen unschwer die räumliche Ausdehnung des besseren und geringeren Bodens in der dargestellten Landschaft erkennen

Aus den Karten läßt sich unmittelbar die Anwort auf die fur die Begrenzung der Ackerschlage einer Wirtschaft hochwichtige Frage ablesen, ob verschiedenartige und verschiedene land- und forstwirtschaftliche Behandlung beanspruchende Bodenarten auf verhaltnismaßig kleiner Flache wechseln, oder ob große zusammenhangende Flächen gleichartigen Bodens eine große Ausdehnung des einzelnen Schlages gestatten Der Aufschluß, den sie in gebirgigen Gegenden fur die Flach- oder Tiefgründigkeit des Bodens geben, ist ausschlaggebend fur die Wahl der anzubauenden Fruchte und Holzarten Ihre und die in den Erlauterungen beigegebenen Angaben uber die Beschaffenheit der oberen wie der tieferen fur die Pflanzen noch erreichbaren Schichten lassen von vornherein die wichtigsten Schlusse zu, nicht nur hinsichtlich des vorhandenen Vorrats an Pflanzennährstoffen, sondern auch fur die gleichfalls bei der Fruchtwahl sehr zu berucksichtigenden Wasserverhaltnisse Letztere werden in erster Linie durch die Lage und die petrographische Beschaffenheit der Untergrundschichten bedingt. So unterscheidet die Karte (s Tafeln I und II) zwischen Talsand im Haupttal und Talsand in der Hochflache Der erstere ist meist feucht, der letztere meist trocken Das in der Mark sehr haufige Profil ① (Tafel II) — in der Oberflache lehmiger Sand, worauf Lehm und dann Lehmmergel folgt — stellt eine starke Wasserhaltigkeit des Bodens in Aussicht Sehr oft aber findet sich zwischen dem lehmigen Sand und dem Lehm eine mehr oder weniger mächtige, dann ebenfalls aus der Karte ersichtliche Sandschicht eingelagert, wodurch die wasserhaltende Kraft des Bodens naturlich in hohem Grade vermindert wird [1]) Dahin gehort

[1]) Die Bedeutung der durch die Karte dargestellten Bodenbeschaffenheit fur die Gestaltung des Wasserhaushalts geht sehr anschaulich aus folgendem, den „Grundlagen des Ackerbaues“ von H e l l r i e g e l S. 742 entnommenen Beispiel hervor. Von zwei Böden hatte bis zu der fur die Pflanzen noch erreichbaren

auch, daß der Sand des *Alluviums*, entsprechend seiner Lage in der Niederung, allermeist mehr natürliche Frische besitzt als der im übrigen ihm ähnliche *Diluvial*sand (Berendt) Auch nach anderer Richtung kann die geognostische Unterscheidung von Wichtigkeit sein So weist Berendt darauf hin, daß die Sande des oberen und des unteren Diluviums *petrographisch* zwar fast gleich sind, *agronomisch* aber eine verschiedene Bedeutung besitzen insofern, als der *obere* Diluvialsand meist in verhältnismäßig *geringer* Mächtigkeit dem Lehm des oberen Diluviums aufliegt, der *untere* aber gewöhnlich sehr mächtig ist, so daß die darunterliegenden wertvolleren Schichten keine Wirkung auf den Pflanzenwuchs ausüben können

Endlich braucht nur noch hervorgehoben zu werden, daß die Karten auch davon Kunde geben, ob Kalk, Mergel, Kleiboden und andere Meliorationsmittel für den Boden im Untergrunde oder in erreichbarer Nähe vorhanden sind

Tiefe von 80 cm der eine Boden A folgendes Profil: Ackerkrume, 33 cm: humoser, lehmiger Sand, Untergrund 33 cm: lehmiger Sand, dann 14 cm reiner Sand. Zum Vergleich diente ein Boden B, bis zu 80 cm Tiefe aus reinem Sand bestehend. Die Feststellung der Wasserkapazität ergab, daß bis zu 80 cm Tiefe 1 ha

von Boden A 2328960, von Boden B 837200 kg Wasser

aufnehmen konnte

Mit Winterfeuchtigkeit gesättigt mag jeder Boden 80 % seiner Wasserkapazität enthalten haben. Nach Hellriegels Ermittlungen kann die Wassermenge, die ein Boden über 30 % seiner Wasserkapazität hinaus enthält, von den Pflanzen aufgenommen werden. Von den vorhandenen Wassermengen standen mithin 80 — 30 = 50 % der Wasserkapazität den Pflanzen zur Verfügung, d. i.

auf Boden A 1164480 kg, auf Boden B 418600 kg Wasser,
entsprechend 116,4 mm 41,8 mm Regenfall.

Viertes Kapitel.

Die Eigenschaften des Bodens und ihre Beeinflussung durch menschliches Eingreifen.

Nach der Begriffsbestimmung des Bodens (s die Einleitung) soll er den Kulturpflanzen einen zusagenden Stand und die mineralischen Stoffe bieten, deren sie zu ihrer Ernährung bedürfen. Der Kulturwert eines Bodens wird also durch seinen Gehalt an Pflanzennährstoffen und durch das stärkere oder schwächere Vorhandensein gewisser Eigenschaften bedingt, die den Pflanzen erst die Nährstoffaufnahme und das Wachstum ermöglichen. Als „physikalische“ Eigenschaften lassen sie sich kurz bezeichnen.

A. Die physikalischen Bodeneigenschaften.

§ 78.

Allgemeines. Auch der an Nährstoffen reichste Boden sichert den Pflanzen kein freudiges Gedeihen, wenn er nicht zugleich andere für das Pflanzenwachstum notwendige Bedingungen erfüllt. Um der Pflanze einen genügend *festen Stand* zu gewähren, muß er so tiefgründig und locker sein, daß die Pflanzenwurzeln bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und sich verbreiten können, zugleich ist ein gewisser Zusammenhang der Bodenteilchen nötig, um ihr Fortwehen und das Umfallen der Pflanzen zu verhindern Dabei darf der Zusammenhang der Bodenteilchen nicht so dicht sein, daß er die *Durchluftung* des Bodens, das Eindringen der atmosphärischen Luft und das Auftreten pflanzenschädlicher Bestandteile der Bodenluft stört. Die Bodenbeschaffenheit muß ferner der Bewegung des *Bodenwassers* nach oben, nach unten und nach den Seiten günstig sein, ohne ein zu schnelles Abfließen nach der Tiefe oder den Seiten hin hervorzurufen. Sie muß endlich eine *Erwärmung* des Bodens auf ein für das Pflanzenwachstum günstiges Maß ermöglichen. Alle diese Eigenschaften werden nur zum kleineren Teil durch die chemische Zusammensetzung der Bodengemengteile, in weit höherem Grade durch deren mechanische Beschaffenheit und das Mengenverhältnis beeinflußt, in dem sie zueinander stehen

§ 79.

Die festen Gemengteile des Bodens. Sieht man vom Bodenwasser und der Bodenluft ab, so kann man den Boden als ein mechanisches Ge-

menge von *grandigen*, *sandigen*, *tonhaltigen* und *organischen* Stoffen [1]) betrachten, die man gewöhnlich als „Bodenkonstituenten“ oder „Bodenelemente“ bezeichnet. *Grand* und *Sand* nennt man die gröberen Gemengteile, die in Wasser schnell zu Boden sinken und meist überwiegend aus Kieselerde (Quarz) bestehen, aber häufig auch zahlreiche, weniger oder mehr zersetzte Gesteins- und Mineraltrümmer, wie Granit, Kalkstein, Kreide, Feldspat, Glimmer u. a., enthalten und so über den Ursprung, das geologische Alter, die geognostische Zugehörigkeit [2]) des Bodens Auskunft geben. Die Teile mit mehr als 2 mm Korngröße rechnet man zum Grand, die kleineren, aber noch mehr als 0,05 mm Korngröße besitzenden zum Sand. Die letzteren teilt man in Unterabteilungen von

2—1 mm, 1—0,5 mm, 0,5—0,2 mm, 0,2—0,1 mm, 0,1—0,05 mm

Korngröße. Unter *tonhaltigen* Stoffen werden die feinkörnigsten Bodengemengteile verstanden, die in Wasser sich lange schwebend erhalten und dadurch von den grobkörnigen Teilen leicht „abgeschlämmt“ werden können. Die tonhaltigen Stoffe (auch „Rohton“) bestehen der Hauptsache nach aus den letzten Verwitterungsprodukten der Mineralien, nämlich aus Ton und feinzerriebenem Quarz (Quarzmehl), enthalten aber fast immer noch größere oder geringere Beimengungen von Eisenoxyd und von weniger verwitterten Mineralien, namentlich von wasserhaltigen Silikaten (Zeolithen), also von den Stoffen, die für das Absorptionsvermögen der Böden von hervorragendem Einfluß sind (s. u.). Man trennt bei den Untersuchungen der Geologischen Landesanstalt die tonhaltigen Teile noch weiter in „Staub“ mit einer Korngröße von 0,05—0,01 mm und in „Feinstes“ unter 0,01 mm Korngröße. Die *humosen Stoffe* bestehen hauptsächlich aus pflanzlichen, zu einem Teil aber auch aus tierischen Resten in den verschiedensten Zersetzungsstadien (§ 58). Der Gehalt eines Bodens an humosen Stoffen entspricht etwa dem Gewichtsverlust, den völlig trockener Boden beim Glühen erleidet. Zur Ermittelung des Gehalts an sandigen und tonhaltigen Gemengteilen dient.

§ 80.

Die mechanische Bodenanalyse. Durch Siebe von verschiedener Lochweite werden zunächst die grobkörnigeren Bestandteile von den feinkörnigeren abgetrennt [3]). Die gröberen Bodenpartikel werden wohl als

[1]) Auch den der Hauptsache nach aus pflanzlichen Stoffen bestehenden Moorböden sind fast ausnahmslos sandige und tonhaltige Stoffe infolge von Überwehungen oder Überschwemmungen beigemengt.

[2]) So wird man z. B. den Sandboden des norddeutschen Flachlandes bei Anwesenheit nordischer Gesteinstrümmer ohne weiteres der Quartärformation, bei ihrer Abwesenheit hingegen einer älteren Formation zurechnen dürfen.

[3]) Die Unterscheidung der Böden nach der Korngröße ihrer Bestandteile, soweit diese durch die Siebmethode ermittelt wird, ist, wie leicht einzusehen

das „Skelett“ des Bodens, die feinkornigeren Bodenteile als „Feinerde“ [1]) bezeichnet. Das Bodenskelett kann man wieder, je nach der Große seiner Bestandteile, in „gröbere Steine“, „Kies“, „Grobsand“ einteilen. Soweit die Siebe zur weiteren Zerlegung der feinkornigeren Bodenbestandteile nicht mehr ausreichen, bedient man sich der *Schlammanalyse*. In Nachahmung der Naturvorgänge, die eine Scheidung der durch das Wasser verschwemmten Gesteinstrümmer je nach ihrer Große, ihrer Form und ihrem spezifischen Gewicht herbeifuhren (S 78), benutzt man zur Scheidung der sandigen und tonhaltigen Stoffe das Wasser In *stehendem Wasser* senken sich die darin verteilten Bodenteilchen um so schneller zu Boden, je grober sie sind Durch einen *aufsteigenden Wasserstrom* werden die kleineren Teilchen leichter gehoben als die schwereren Man kann daher das ruhige wie das bewegte Wasser zu einer mechanischen Zerlegung des Bodens in feinere und grobere Partikel verwenden [2]) Besonders mittels

und wie es besonders von A. Mitscherlich (Bodenkunde fur Land- und Forstwirte, 2. Aufl., S 46) nachgewiesen wurde, insofern mit Fehlern behaftet, als der Durchgang der Bodenkörner durch ein Sieb sehr wesentlich durch deren *Form* beeinflußt wird Diese ist eben bei Boden verschiedener Herkunft sehr verschieden. Daher kommt es, daß beim Absieben verschiedener Bodenarten durch gleiche Siebe Teilchen von verschiedener mittlerer Große durch das Sieb hindurchgehen (Mitscherlich) Immerhin kann das Verfahren zur Kennzeichnung von Boden mit extremen Korngrößen gute Dienste tun

[1]) Hinsichtlich der Bezeichnung der Bodenteile von verschiedener Korngröße herrscht bis jetzt keine Einmütigkeit, und namentlich wird der Ausdruck „Feinerde“ bald fur die Bodenteilchen gebraucht, die ein 0,25-mm-Sieb, bald für solche, die ein 2- oder 3-mm-Sieb passieren. Am zweckmaßigsten dürfte es sein, ihn und die ubrigen hier aufgeführten Bezeichnungen fallen zu lassen und allgemein die von der Preußischen Geologischen Landesanstalt bei ihrem großartigen Kartierungswerk benutzten (§ 74 ff.), S. 134 mitgeteilten Unterscheidungen einzuführen

[2]) Zur Ausfuhrung der Schlammanalyse in stehendem Wasser dienen „Schlammzylinder“ (nach Knop, J. Kuhn u a) oder „Schlammflaschen“ (nach v. Bennigsen-Förder), aus denen man entweder die nach einer bestimmten Zeit noch im Wasser schwebenden Bodenteilchen von den sich absetzenden gröberen Teilen abgießt, oder in denen man, nach langerem Stehenlassen, die Schichten mißt, worin die verschiedenen Bodenpartikel je nach ihrer Korngröße sich abgesetzt haben. Auf dem anderen Prinzip (bewegtes Wasser) beruht u. a. der auch seitens der Königl. Preußischen Geologischen Landesanstalt benutzte Schone'sche Schlammapparat, mittels dessen man die bei verschiedener Stromgeschwindigkeit aufgeschlämmten Bodenpartikel getrennt aufsammelt. (Je geringer die Wassergeschwindigkeit, um so kleiner sind die Bodenteilchen, die dadurch aufgeschlammt werden) — Die Schlammgeschwindigkeit der im Wasser schwebenden Stoffe hangt nicht bloß von ihrer Korngröße, sondern auch von ihrem spezifischen Gewicht und ihrer Form ab Es besitzen daher die bei derselben Stromgeschwindigkeit schwebend gehaltenen Bodenteilchen, d. h Bodenteilchen „von gleichem hydraulischen Wert“, bei verschiedenem Gewicht und bei verschiedener Form auch verschiedene Korngröße. Bei den Angaben

des letzteren gelingt es, mit großer Sicherheit in Bodenproben die vorhandenen Mengen von tonhaltigen und feiner- und gröbersandigen Bestandteilen zu ermitteln. Ihre Art und Größe sowie die Menge und Beschaffenheit der gleichfalls leicht zu bestimmenden Humusstoffe sind von größtem Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens, zunächst auf seine *Lagerungsverhältnisse*

§ 81.

Lagerung, Struktur, Kohärenz Die Lagerungsweise der einzelnen Bodenteilchen („Bodenelemente"), m a. W. die „Struktur" oder das Gefüge des Bodens ist verschieden, je nachdem die *einzelnen* Teilchen gleich wenig oder gleich fest aneinander gebunden sind („Einzelkornstruktur"), oder immer eine kleinere oder größere Anzahl von Bodenteilchen sich untereinander zu kleinen Haufwerken (Krümeln, Flocken) fester miteinander *verbunden* hat (Krümelstruktur). Sandboden wie Tonboden können Einzelkornstruktur aufweisen Im ersteren liegen die einzelnen Sandkörner (wenn sie trocken sind) lose, ohne jeden Zusammenhang, nebeneinander, im letzteren halten sich die Tonteilchen mit einer beträchtlichen Anziehungskraft aneinander gefesselt, die der mechanischen Trennung einen Widerstand entgegensetzt [1]) und die man „Kohärenz" nennt Bei beiden Bodenarten kann die Einzelkornstruktur im Krümelstruktur übergehen; bei der ersteren, wenn die Bodenelemente durch bindende Stoffe (Ton, Kieselsäure, Humus, Kalk oder auch durch Wasser) zu Krümchen verkittet werden, bei den letzteren dadurch, daß auf irgendeine Weise der gleichmäßige Zusammenhang der Masse gelockert und die Bildung einzelner in sich fester gefügter, aber lose *nebeneinander* liegender Bodenteilchen g r u p p e n herbeigeführt wird Hierdurch wird also die Kohärenz oder „Bindigkeit" des Sandbodens *vermehrt*, die des Tonbodens *vermindert* Die Überführung der Einzelkorn- in die Krümelstruktur ist für die landwirtschaftliche Verwertung des Bodens von hoher Bedeutung, daß sie seine Luft- und Wasserverhältnisse günstiger gestaltet und dadurch die Zugänglichkeit seines Nährstoffvorrats steigert, wird weiter unten erörtert

des S c h ö n e schen Schlämmapparates versteht man unter „Schlämmprodukten von dieser oder jener Korngröße" solche Körner, die runden Quarzkörnern desselben Durchmessers hydraulisch gleichwertig sind.

1) Je nach der Zähigkeit, mit der die einzelnen Bodenteilchen aneinander haften, und die allermeist auch in der Zähigkeit ihres Anhaftens an Holz und Eisen sich ausspricht, unterscheidet der Landwirt zwischen „schweren" oder „strengen" (d. h. schwer zu bearbeitenden) und „leichten" (leicht zu bearbeitenden) Böden, wobei allerdings an die Bezeichnung „schwer" zugleich die Annahme eines größeren, an die Bezeichnung „leicht" die eines geringeren Reichtums an den für die Pflanzenentwicklung wichtigen Stoffen geknüpft wird.

werden. Ein Boden mit Krumelstruktur erleichtert infolge des Vorhandenseins großerer Hohlraume das Eindringen und das Wachstum der Pflanzenwurzeln und die Bearbeitung mit landwirtschaftlichen Werkzeugen [1]). Sie verhindert ferner die Krustenbildung und das Rissigwerden der tonreichen Böden (s. unter Volumveranderung, S. 158). Auf die Krümelbildung wirken insbesondere die folgenden Umstande ein. Von ungunstigem Einfluß sind heftige Platzregen und Hagelfalle, die die gebildeten Krumel zerstoren, den Boden „verschlämmen". Schon die Durchfeuchtung der Krumel erhöht die Verschiebbarkeit von deren Bestandteilchen, so daß der an sich nicht starke Druck der auffallenden Regentropfen genugt, um sie zum Verfallen zu bringen (Ramann).

Sehr verwickelt und nicht immer leicht verstandlich ist die Wirkung gewisser, als Düngemittel verwandter Verbindungen auf die Krumelung. Einerseits ist es eine längst bekannte Tatsache, daß die Anwesenheit von Calciumoxyd und Calciumkarbonat das Bodengefuge günstig beeinflußt. So zeigten vergleichende Versuche, daß bei Zumischung von Kalk oder Mergel zum Boden eine Raumvergroßerung eintritt, der Boden also aufquillt oder lockerer wird, ein Erfolg, der nur durch Krumelbildung aus den feinen, vorher dicht aneinander gelagerten Bodenteilchen erklärt werden kann Nach E. Hilgard [2]) trocknet Ton oder Tonboden, mit Wasser angeknetet, zu einer steinharten Masse aus, dagegen ist derselbe Ton, mit 0,5—1 % Calciumoxyd angerührt nach dem Austrocknen ein lockerer, leicht zerfallender Korper.

Anderseits haben zahlreiche Erfahrungen uns belehrt, daß gewisse Salze, wie Natronsalpeter und Kochsalz, äußerst ungunstig auf die mechanische Bodenbeschaffenheit einwirken können. Bei einseitiger reichlicher Dungung mit Chilisalpeter gingen nach Adolph Mayer [3]) die zuerst sehr gesteigerten Ernten stark zurück, und der tonreiche Boden geriet in einen höchst ungunstigen mechanischen Zustand (ubergroße Bindigkeit, sehr dichte Lagerung und Verkrustung).

Sehr wahrscheinlich ist diese üble Nachwirkung wenigstens zum Teil auf das Entstehen von Natriumkarbonat (Soda) zuruckzufuhren, indem vom Natriumnitrat des Chilesalpeters die Salpetersäure durch die Pflanzen aufgenommen und das zurückbleibende Natrium durch die Boden-Kohlensäure in Karbonat ubergefuhrt wird [4]).

[1]) Der vorteilhafte Einfluß, den nach dieser Richtung hin eine die Krumelung fordernde Bodenbehandlung ausubt, laßt sich leicht mit Hilfe der jetzt üblichen „Zugkraftmesser" bei den in Frage kommenden Bodenbearbeitungsgeraten nachweisen

[2]) R. Sachse's Lehrbuch der Agrikulturchemie, S. 228.

[3]) Förschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik, Jahrg 1879, S. 373.

[4]) Die verderbliche Wirkung der leichtlöslichen Alkalikarbonate wurde zuerst auf den insbesondere in warmen trockenen Gegenden auftretenden „Alkaliboden"

Desgleichen wirkt erfahrungsgemäß ein hoher Gehalt von Chlornatrium vernichtend auf die Krümelkonstruktion, was besonders nach Überflutung tonreicher Böden mit kochsalzhaltigem Wasser hervortritt. Zur Erklärung kann unter anderen Ursachen die Umwandlung des die Bodenteilchen zu Krümeln verkittenden Calciumhumats in leichtlösliches, der Auswaschung verfallendes Calciumchlorid herangezogen werden (Ehrenberg). Handelt es sich um Überschwemmung mit Meerwasser, so pflegt die Schädigung nicht sofort, sondern erst nach längerer Zeit, etwa im zweiten Jahre, nämlich dann einzutreten, wenn der größere Teil der Seesalze aus dem Boden ausgetreten ist. Besonders kennzeichnend für diese Vorgänge ist das Verhalten der durch Eindeichung („Einpolderung") der Schlickabsätze an der deutschen Nordwestküste gewonnenen Marschbodenflächen (S. 72 und 79). In den ersten Jahren weisen diese Böden eine ausgezeichnete Krümelstruktur auf, ganz im Gegensatz zu den aus Süßwasser abgesetzten „Auetonboden". Wie bereits früher erwähnt wurde und gelegentlich der Besprechung der Kolloide (s. u.) noch eingehender erörtert werden muß, sind es hauptsächlich die Sulfate und Chloride des Meereswassers, welche die vom Flußwasser mitgeführten tonreichen Schwebestoffe zur Ausflockung bringen. Solange als sie der abgesetzten Bodenmasse verbleiben, behält diese ihre lockere krümelige Beschaffenheit. Wenn sie aber — die besonders leichtlöslichen Kalium- und Magnesiumsulfate und Chloride zuerst — durch die atmosphärischen Niederschläge ausgewaschen sind, und das schwer lösliche Natriumchlorid prozentisch sich angehäuft hat, dann erfolgt mit der Zerstörung der Krümel eine bis zur Verkrustung sich steigernde Dichtlagerung der Bodenteilchen [1]), und zwar besonders schnell, wenn durch unvorsichtige Bodenbearbeitung die verschlammende Kraft des Wassers noch gefördert wird.

Günstig beeinflußt wird die Krümelung eines tonreichen Bodens durch das Eindringen, die Verbreitung und das Wachstum der Pflanzenwurzeln und durch das Graben und Wühlen der im Boden lebenden Tiere.

Die Einwirkung der Regenwürmer auf die Lagerung des Bodens ist insbesondere von D a r w i n eindrucksvoll beleuchtet worden. Sie wirken nicht nur durch ihre grabende Tätigkeit, sondern auch dadurch auf die Krümelbildung hin, daß sie mit ihrer Nahrung große Mengen von mine-

(„Sodaböden") erkannt. Solche Böden können Auswitterungen mit einem Sodagehalt von über 90 % aufweisen. Schon geringe Beimengungen des Salzes zum Boden verhindern die Krümelbildung vollständig. Zudem veranlassen sie die Bildung harter, ortsteinähnlicher Bodenschichten.

[1]) Bei der Anlage von Rimpauschen Moordammkulturen benutzt man diese Wirkung bisweilen zum Schutz feinkörnigen Decksandes vor dem Verwehen. Bei rechtzeitigem Aufstreuen größerer Mengen Kainit überzieht sich die Sanddecke mit einer dünnen Kruste, die sie längere Zeit vor dem Fortwehen schützt.

ralischen Bodenbestandteilen aufnehmen und mit ihren Ausscheidungen in ausgezeichneter Krumelform zurücklassen. Nach Darwin besteht die Krume unserer guten Äcker hauptsächlich aus Regenwurmausscheidungen. Auch auf gut entwässerten Moorwiesen kann man diese Beobachtung nicht selten bestätigt finden Nach Beobachtungen eines englischen Regierungsbeamten im Tal des Weißen Nils in der Umgebung von Kartum[1]) berechnete sich, daß die obere 60 cm starke Bodenschicht innerhalb eines Zeitraums von 25 Jahren den Leib des Regenwurms durchwandert hatte. In einer Nacht wurden auf 1 qm 200—550—550—750 g Auswurfsmasse festgestellt, das wurde bei 550 g Auswurf 5500 kg je Hektar ergeben Der Berichterstatter glaubt die fabelhafte Erzeugungskraft der Tropen der viel großeren Zahl und lebhafteren Tatigkeit der Regenwurmer zuschreiben zu sollen.

Nach A. Orth vermag der Regenwurm auch die durch Eisenhydroxyd verklebten Schichten des Untergrunds wieder zu offnen, so daß die Pflanzen eindringen können. „Die Pflanzen gehen den Wurmrohren gern nach. In Ton- und Lehmböden ist der Regenwurm ein wesentliches Hilfsmittel sowohl fur die Entwasserung als fur das Tiefenwachstum der Wurzeln“

Von anderen Insekten tragen wohl noch die Ameisen und manche Käfer zur Krumelung des Bodens bei. Unter den hoheren Tieren ubt der Maulwurf eine heilsame Wirkung auf die Bodenumlagerung aus.

Über den forderlichen Einfluß des Frostes wird bei der hier folgenden Besprechung der Kolloide berichtet werden. (Siehe auch dessen Wirkung auf die Krumelung des Seeschlicks S. 73,.)

Daß unvorsichtiges menschliches Eingreifen die Krumelung erheblich storen kann, wurde bereits hervorgehoben. Im übrigen hat gerade die mechanische Beobachtung des Bodens mittels der ublichen landwirtschaftlichen Werkzeuge zum großen Teil den Zweck, die Krümelstruktur herbeizuführen. Er wird jedoch, insbesondere bei tonreichen Boden, verfehlt, wenn diese während der Bearbeitung sehr naß sind oder gleich nach der Bearbeitung viel Regen erhalten. Eine unvorsichtige Verstarkung der Ackerkrume („Tiefkultur“) durch Aufpflugen bindigen Untergrundbodens kann bei Eintritt starker Regengusse eine Zerstorung der Krumelstruktur und eine unheilvolle Verkrustung der Oberflache zur Folge haben. Von sehr günstigem Einfluß ist, wie bereits bemerkt, die Zufuhr von *Kalk* und Kalkmergel sowie von Grundüngungsmasse und von Stalldunger[2]) zu

[1]) Mitt der D Landw.-Ges, Jahrg. 1912, S. 324 (daselbst nach Journ. d'Agricult prat)

[2]) Die Zufuhr humusbildender Stoffe mildert durch das Eindringen der Humusteilchen in die leicht verklebende tonige Masse deren Koharenz und schafft außerdem eine standig fließende Quelle von Kohlensaure, die, wie wir auf S. 155 erfahren werden, das Zusammenflocken der Tonteilchen zu Krümeln fördert.

tonreichen Böden. Auch die Vermischung tonreichen Bodens mit grobem *Sand* ist geeignet, seine Kohärenz abzuschwächen. In gleicher Richtung wirkt der Anbau von Pflanzen mit stark entwickeltem Wurzelsystem (Klee) In sandreichen Böden wird man durch Aufbringen von humus- und von tonhaltigen Stoffen (z. B. von Tonmergel) auf eine *Verstärkung* der Kohärenz, also in diesem Fall gleichfalls auf die Krumelbildung günstig einwirken konnen

§ 82.

Die „Bodengare". Äußere Merkmale für einen „garen"[1]) Boden sind die folgenden·

Die Lagerung der Bodenteilchen ist weder zu dicht noch zu lose. Sie zeigt eine der Luft- und Wasserbewegung gunstige Lockerheit, wie sie nur beim Krumelzustand möglich ist Unzersetzte Pflanzenteile sind höchstens in geringer Menge vorhanden Die Ernterückstände haben sich in einen die obere Bodenschicht gleichmaßig durchsetzenden und sie dunkel färbenden Humus umgewandelt. Der Boden zeigt einen eigentumlichen, kräftigen, besonders nach langer Winterruhe oder bei erquicklichem Regen nach anhaltender Trockenheit aufsteigenden („Erd-") Geruch[2]). Er besitzt eine gewisse Elastizitat, setzt ähnlich wie ein weicher Teppich dem auftretenden Fuß einen Widerstand entgegen[3]). Weder naß noch trocken besitzt er dauernd einen Feuchtigkeitsgrad, den der Landwirt „Bodenfrische" nennt, und der einer angemessenen Durchlüftung günstig ist.

Daß dieser erstrebenswerte Bodenzustand, insbesondere die gunstige Wasserregelung, die Durchluftung, Humusbildung, Krumelung durch zweckmäßige mechanische Bodenbehandlung erheblich gefördert werden kann, wird im folgenden noch mehrfach erörtert werden, aber der landwirtschaftliche Schriftsteller A. v. Rosenberg-Lipinski[4]) hat gewiß Recht mit seiner Äußerung, man könne eine künstliche Mischung

[1]) Die Bezeichnung „Gare" hat wohl nichts — wie mehrere Forscher annehmen — mit dem Vorgang der Garung zu tun. Sie druckt lediglich den Begriff des Garen, des Gebrauchsfertigen aus, so wie man von „garen" Speisen, „garen" Metallschmelzen spricht.

[2]) Er ruhrt von einem Bakterium der Cladothrix odorifera oder Aktynomices odorifer her, das der Trockenheit und dem Frost widersteht, aber zu energischer Entwicklung gelangt und dabei einen würzigen Duftstoff absondert, wenn der warme Boden sich mit Feuchtigkeit sattigt.

[3]) „En ordentlich afmeßt Land muß wie eine Decke von Sanft aussehen," sagt Inspektor Brasig in Fritz Reuters „Stromtid" — Man hat den weichen und dabei elastischen Zustand des garen Bodens nicht unpassend mit dem Verhalten eines unter dem Einfluß des Hefepilzes aufgegangenen Brotteigs verglichen, wenn auch dieses anderen Ursachen seine Entstehung verdankt als das „Aufgehen" des garen Bodens.

[4]) Der praktische Ackerbau, Breslau 1890.

der wertvollsten Bodenbestandteile bei günstigstem Feuchtigkeitsgehalt noch so gründlich mechanisch durcharbeiten, man werde, falls man nicht der Natur Zeit und Ruhe lasse, nie die Bodengare erzielen.

Nach unserer jetzigen Erkenntnis sind an der Hervorbringung der Bodengare sehr wesentlich die Bodenbakterien und die im Boden vorhandenen Klebestoffe (Kolloide) beteiligt. Als ein Mittel zu ihrer Herbeiführung dient dem Landwirt besonders auf tonreichen („schweren", bindigen) Böden u. a. die *Brache*, bei der entweder unter Verzicht auf einen ganzen Jahresertrag der Anbau von Nutzpflanzen ganz unterbleibt („Vollbrache" oder „Schwarzbrache") oder das Land, etwa nach Umbruch der Weide oder des Kleeackers, ohne Sommerfrucht belassen oder nach Aberntung der Sommerfrucht den Winter über nur bearbeitet wird, aber unbestellt bleibt („Teilbrache" oder „Halbbrache")

Den Nutzen des Verfahrens sieht man in der Möglichkeit einer wirksamen Bekämpfung des Unkrautwuchses, in der Schonung des Bodenwassergehalts, in der die Verwitterung der Bodenbestandteile förderlichen starken Durchluftung und in dem günstigen Einfluß von Durchlüftung und größerer Bodenruhe auf die Entwicklung der sauerstoffliebenden nutzlichen Bodenbakterien.

Alle diese der Brache zugeschriebenen Wirkungen erscheinen durchaus einleuchtend. Auf dem längere Zeit brachliegenden Acker wird man der Wurzelunkräuter viel leichter Herr werden. Durch das wiederholte „Schälen" werden die Samenunkräuter bald zum Auflaufen gebracht und ihre Vertilgung erleichtert. Der brachliegende Acker verliert weit weniger Wasser durch Verdunstung als der mit Nutzpflanzen bestandene (s. u.). Auch die bei der oberflächlichen Brachbearbeitung erfolgende Lockerung der Oberschicht setzt den kapillaren Aufstieg und damit die Verdunstung des Bodenwassers herab (s u.). Daß mit dem wiederholten Lockern der obersten, leicht verhärtenden Bodenschicht auch die Durchluftung und durch diese in Verbindung mit dem größeren Feuchtigkeitsgehalt die Umwandlung der Bodenbestandteile in losliche Pflanzennährstoffe gefördert wird, liegt auf der Hand.

Diesen unbestreitbaren Vorteilen stehen jedoch manche Bedenken gegenüber· Lassen jene günstigen Folgen sich nicht auch durch weniger verlustreiche Maßnahmen erreichen? Wird nicht ein Teil der während der Brachhaltung löslich gewordenen Bodenbestandteile durch Auswaschen dem vegetationslosen Boden verlorengehen? [1]) Jedenfalls ist man heute geneigt, die Brache nur als einen Notbehf anzusehen, der nur auf besonders schwierigen Böden seine Berechtigung hat.

[1]) S. darüber unten die Ausführungen über Sickerwasser (S. 201). Bei Gefaßversuchen von J. Hanamann gab der nackte Boden im Durchschnitt viermal mehr salpetersaure Salze an das Sickerwasser ab als der mit Pflanzen bestandene.

§ 83.

Das Verhalten des Bodens zum Wasser. *Wasserkapazität, Adhäsion, Kohäsion, Imbibition.* Ist irgendein Boden bis an seine Oberfläche in Wasser eingetaucht, so entspricht die darin enthaltene Wassermenge — abgesehen von dem durch die Bodenbestandteile etwa chemisch gebundenen Wasser — der Größe der zwischen den festen Bodenteilchen vorhandenen Hohlräume, soweit sie nicht mit Luft erfüllt sind. Sinkt der Wasserstand, so fließt aus dem über den Wasserspiegel hinausragenden Boden nicht etwa das ganze die Bodenporen erfüllende Wasser ab. Vielmehr wird ein von der Beschaffenheit des Bodens und von der Tiefe der Wassersenkung abhängiger Teil des Bodenwassers zurückgehalten. Die Summe der hierbei tätigen Kräfte bezeichnet man als „wasserhaltende Kraft“ oder *Wasserkapazität* des Bodens. Ihre Größe mißt man an der Wassermenge, die 100 Gewichtsteile des trocken gedachten Bodens oder 100 Raumteile Boden aufzuspeichern vermögen.

An der Festhaltung des Wassers beteiligen sich verschiedene durch die ältere und neuere Forschung mehr oder weniger klargestellte Kräfte.

Bei Berührung mit Wasser bedecken sich die festen Bodenteilchen mit einer sehr dünnen Wasserschicht („Benetzung“), die durch Flächenanziehung („Adhäsion“) sehr festgehalten wird und welche vermöge der dem Wasser selbst eigenen Anziehungskraft („Kohäsion“) weitere Wasserteilchen festhalten kann. Die Menge des so festgehaltenen Wassers hängt von der Größe der wirksamen Oberfläche ab. Bei vielen Bodenbestandteilen kommt als Oberfläche nur deren Außenseite in Betracht, bei porösen auch die Innenwände der Poren. Dagegen lassen viele aus dicht aneinander gelagerten Teilchen bestehenden Stoffe das Wasser in ihr Inneres eindringen („Imbibition“), wo es um so fester gehalten wird, je kleiner die festen Bodenteilchen, je größer also die Gesamtheit ihrer Oberflächen ist. Mit Rücksicht hierauf unterscheidet man (mit Mitscherlich) zwischen „äußerer“ und „innerer“ Oberfläche. Daß die letztere die erstere um so mehr überragen muß, je kleiner die einzelnen Bestandteile sind, bedarf keines Nachweises. Immerhin ist es für die nachfolgenden Betrachtungen von Belang, daß mit der Zerteilung irgend eines festen Körpers die Größe der Oberflächensummen steigt und mit der festeren Aneinanderlagerung der einzelnen Teilchen abnimmt.

Zu den Bodenbestandteilen, die durch Kleinheit ihrer festen Teilchen sich auszeichnen und daher eine hervorragende Flächenanziehung ausüben, gehört ein Körpergruppe, deren hohe Bedeutung für alle Naturreiche man erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit klar erkannt hat. Das sind die *Kolloide*. Erst das wissenschaftliche Eindringen in ihre Eigenschaften hat das Verständnis für zahlreiche Bodenvorgänge eröffnet.

§ 84.

Die Kolloide. Elektrische Dissoziation oder Ionisation. Kolloidale Lösungen. Die ältere Chemie teilte die chemischen Verbindungen in *Kristalloide* und *Kolloide* Sie sah in den Kolloiden Körper, die nicht in Kristallform, sondern gestaltlos (amorph) auftreten, auch nicht wie die Kristalloide sich derartig in Flüssigkeiten lösen, daß sie mit diesen poröse Stoffe durchdringen, auch nicht oder doch nur äußerst langsam durch dünne Häute („Membrane") tierischer oder pflanzlicher Herkunft hindurchtreten können. Ihren Namen verdanken sie einem Gliede dieser Körpergruppe, dem Leim (lateinisch colla).

Nach unserer heutigen physikalisch-chemischen Erkenntnis, die zwar durch die Kolloidforschung wesentlich gefördert worden ist, aber noch vieles ungeklärt läßt, erscheint die Annahme scharfer Grenzen zwischen Kristalloiden und Kolloiden nicht mehr zulässig Vielmehr deuten zahlreiche Beobachtungen daraufhin, daß Eigenschaften, die man früher ausschließlich den Kolloiden zuschrieb, unter besonderen Verhältnissen sich auch bei den Kristalloiden zeigen, und daß auch die gewöhnlich als Kolloide auftretenden Stoffe, z B Eiweiß, Kristallform annehmen können. Hiernach ist man geneigt, in den Kolloiden nicht sowohl eine besondere Stoff*gruppe* als vielmehr einen besonderen Stoff*zustand* zu erblicken, wobei allerdings zu beachten ist, daß unter den meisten Verhältnissen, die als Kristalloide bezeichneten Stoffe ein kristalloides, die als Kolloide bezeichneten ein kolloidales Verhalten zeigen.

Zu den als Kolloide angesehenen Verbindungen gehören die meisten im gewöhnlichen Leben als Klebemittel verwendeten Stoffe, wie Leim, Stärkekleister, Dextrin, Arabisch-Gummi, Eiweißkörper u a. Im Boden sind es hauptsächlich das Eisenhydroxyd, das Aluminiumhydroxyd (S. 50), die verschiedenen Kieselsäuren, manche wasserhaltige Silikate (S. 33), die insbesondere in ihrem Verhalten zum Wasser mit den soeben genannten Kolloiden große Ähnlichkeit zeigen (s. u . „Kolloidale Lösungen") Aber auch andere wichtige Bodenbestandteile, nämlich der Ton, die Humusstoffe, ferner die Bodenmasse der Moorböden, der Torf, besitzen so ausgeprägte kolloidale Eigenschaften, daß man trotz mancher Abweichungen im Verhalten sie den kolloidalen Stoffen zurechnen muß.

Um Klarheit über kristalloide und kolloide Zustände zu gewinnen, vergleicht man am besten das äußere Verhalten zweier Stoffe, von denen der eine meistens deutlich kristalloide, der andere deutlich kolloidale Eigenschaften besitzt im *feuchten* Zustande, z B. gewöhnlicher Quarz-

[1]) Man bezeichnet diesen für den tierischen und den pflanzlichen Organismus hochwichtigen Vorgang als „Osmose", „Dialyse" oder „Diffusion".

sand und Ton[1]). Beim Zerreiben zwischen den Fingern laßt der gewöhnliche feuchte Sand deutlich die einzelnen Körner erkennen, während der feuchte Ton die einzelnen Teilchen nicht spüren läßt Die Ausdrucke „körnig" einerseits, „schleimig", „gallertig", „schliffig", „fettig", „speckig", „schmierig" andererseits kennzeichnen den Eindruck, den die beiden Stoffarten auf die fuhlende Hand ausuben. Der feuchte Sand ist nur in sehr geringem Maße bildsam Beim Austrocknen zerfällt er leicht in die einzelnen Körner Der feuchte Ton ist in hohem Grade bildsam („knetbar", „formbar", „plastisch") Er erhartet beim Austrocknen unter starker Volumverminderung („Schwinden", „Kontraktion") zu einer dichten, festen, harten Masse [Nur *äußerst feine* Sande, wie sie z B aus der „Trube" der Gletscherwasser sich allmahlich zu Boden setzen, fuhlen sich zwischen den Fingern fast wie Ton an, zeigen sich auch bis zu einem gewissen Grade formbar und erharten beim Austrocknen zu Krusten (s. S 63, Spatsand). Ein ähnliches Verhalten zeigen auch andere sehr feinkornige Stoffe, die man gewohnlich nicht zu den Kolloiden rechnet, die aber gleichfalls kolloidalen Zustand annehmen konnen, z. B. der Wiesenmergel (s S. 69).] .

Besonders große Unterschiede zeigen der *gewöhnliche* Sand und der Ton in ihrem *Verhalten zum Wasser*. Während der erstere im Wasser schnell zu Boden sinkt, verteilt sich der feuchte Ton äußerst fein im Wasser, so fein, daß man die einzelnen Teilchen, wenn uberhaupt, nur mittels des mit besonderen Beleuchtungsvorrichtungen versehenen „Ultramikroskops"[2]) erkennen kann Je kleiner die Einzelteilchen, je geringer ihr Eigengewicht, um so weniger vermogen sie den Auftrieb des Wassers zu uberwinden, um so länger verhalten sie sich schwebend Ein solches Gemisch von Wasser mit kleinsten Teilchen fester Korper bezeichnet man als „*kolloidale Losung*" und den Zustand, in dem sich die Kolloidteilchen befinden, als „*Sol*zustand"[3]) In Wirklichkeit handelt es sich dabei nicht um eine Losung im eigentlichen Sinn, bei welcher der gelöste Korper dem Auge gänzlich verschwindet Sie hat auch nicht, wie es bei wirklichen Losungen

[1]) Bei der Wahl des Beispiels folge ich dem „Abriß der Kolloidchemie" in dem umfassenden Werk von Prof. Dr. P Ehrenberg, Die Bodenkolloide, II Aufl. S. Literaturnachweis.

[2]) Das Ultramikroskop laßt noch Teilchen von $\frac{1}{1\,000\,000}$ mm Durchmesser erkennen

[3]) „Echte" Kolloide (s o) pflegt man solche Stoffe zu nennen, welche fahig sind, vollstandig in den „Sol"zustand überzugehen, wahrend die Bezeichnung „unechte" Kolloide solche Bodenbestandteile umfaßt, die, wie viele Tone, Humusstoffe und wie die Torfsubstanz und zahlreiche pflanzliche Gewebe zwar teils wegen ihrer feinen Verteilung, teils wegen ihres „waben"artigen oder ahnlichen Gefüges eine große Oberflachenentwicklung und Anziehungskraft besitzen, aber im Boden vornehmlich im Gelzustand (s. das Folgende) vorhanden sind.

der Fall ist, einen hoheren Siedepunkt und einen niederen Gefrierpunkt als das Lösungsmittel, auch diffundiert sie nicht oder doch nur äußerst langsam durch tierische oder pflanzliche Membranen (s. S. 152).

Durch dichteres Zusammenlagern der schwebenden Teilchen entstehen daraus „Flocken", die vermöge ihres großeren Gewichtes zum Absatz kommen und eine gallertartige Masse, ein „*Gel*", bilden Das Zusammenballen, die Ausflockung (oder Koagulation) und infolgedessen „Sedimentation" oder Absatz von Kolloidkörpern ist zurückzufuhren einmal auf rein mechanische Wirkungen das allen Stoffteilchen eigene Bestreben, sich so zusammenzulegen, daß daraus ein Individuum von möglichst kleiner Oberfläche entsteht[1]), weiterhin aber auf gewisse, gleich zu besprechende elektrische Einflusse. Es wird durch sehr mannigfaltige Umstände gefördert oder zerstört Fördernd wirkt der Frost, aber bei manchen Kolloiden auch die Wärmesteigerung, soweit dadurch in der Flüssigkeit keine Bewegung veranlaßt wird. Ferner vollständige Ruhe[2]) und zunehmende Konzentration.

Gewisse . Stoffe kolloidaler Art verhindern die Ausfällung mancher Kolloide. Aus dem gewöhnlichen Leben ist bekannt, daß man das Kolloid-Öl durch Schütteln mit Wasser in einzelne kleine Tröpfchen zerteilen kann, die das Wasser milchig truben. Bei ruhigem Stehen sondert sich das Öl als eine auf dem Wasser schwimmende Schicht wieder ab Es geht aus dem Sol- wieder in den Gelzustand uber Dies wird jedoch verhindert, wenn man der Mischung- gewisse Kolloidstoffe, z. B. Arabisch-Gummi oder Eiweiß, zufügt Solche den Übergang des Sol- in den Gelzustand hindernde Stoffe nennt man „*Schutzkolloide*" Sie konnen auch im Boden eine heilsame Rolle spielen. Z. B kann die Anwesenheit von Humusstoffen die Ausfällung von Eisenhydroxyd hindern, dieses beweglich erhalten und so beim Aufhören der Schutzwirkung zu einer gunstigen verklebenden, krümelbildenden Wirkung im Boden befähigen Auch die gute Wirkung der Humusstoffe als Schutzkolloid ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß die Humusteilchen wie eine Hulle sich um die kleinen, Tonteilchen lagernd, diese vor einem zu starken Zusammenbacken schützen und so die Kohärenz des zähen, strengen Tonbodens mildern[3])

Andere Stoffe fuhren verhaltnismäßig schnell eine Zusammenballung und Fällung herbei Sie kann sowohl durch Säuren [auch durch Kohlen-

[1]) Es spricht sich u a. in der Tropfenbildung bei Flussigkeiten aus, da ja jeder Körper bei Kugelgestalt die kleinstmogliche Kugelgestalt besitzt

[2]) Unter Umstanden kann allerdings heftige Bewegung auch die Vereinigung kleiner Teilchen bewirken. So erinnert P. Ehrenberg (a. a. O. S 20) an den Vorgang des Butterns.

[3]) Versuche zur Erklarung der „Schutzwirkung" s. Ehrenberg a. a. O. S. 126 ff.

säure [1])] als durch Basen und Salze veranlaßt werden und wird auf elektrische Vorgänge zurückgeführt, weil sie hauptsächlich von „Elektrolyten", d. h. von solchen Verbindungen ausgehen, welche die Elektrizität gut leiten und beim Auflösen in Flüssigkeiten sich in einzelne Teile („Ionen") zerspalten.

Die elektrische Dissoziation oder Ionisation. Wie S. 28 kurz besprochen wurde, erleiden bei hoher Temperatur zahlreiche Verbindungen eine Zersetzung, die man als „Dissoziation" bezeichnet. So zerfallen Calciumkarbonat $CaCO_3$ in CaO und CO_2, Schwefelsäure H_2SO_4 in H_2O und SO_3, Wasser H_2O in 2 H und O. So erfahren ferner gewisse chemische Verbindungen, insbesondere Salze, wenn sie in Wasser oder anderen Flüssigkeiten gelöst sind, unter der Einwirkung elektrischer Kräfte eine Dissoziation, die man als elektrische Dissoziation oder als Ionisation bezeichnet. Ihr unterliegen nur solche Salze, welche die Fähigkeit besitzen, den elektrischen Strom zu leiten („Elektrolyte"). Sie tritt nur in verdünnten Lösungen auf und wächst mit steigender Verdünnung. Dabei geraten die abgespaltenen Teile in Bewegung, sie „wandern" (und zwar mit verschiedener Geschwindigkeit). Sie werden daher nach dem englischen Physiker F a r a d a y als Wanderer oder Ionen bezeichnet. Die Ionen sind teils mit negativer, teils mit positiver Elektrizität geladen und streben demgemäß teils dem positiven, (der „Anode") teils dem negativen (der „Kathode") zu. Die positiv geladenen Ionen nennt man „Anionen", die negativ geladenen „Kationen". Die Ionen können entweder einzelne Atome oder Gruppen von zwei oder mehreren Atomen sein. So nimmt man im Wasser H_2O das Bestehen eines Atomions H (Anion) und eines Hydroxylions OH (Kation), im Kaliumhydroxyd KOH das Bestehen eines Anions K und eines Kations OH, im Calciumhydroxyd CaO_2H_2 das Bestehen eines Anions Ca und zweier Katione OH an. Die Stärke der Elektrizitätsladung der verschiedenen Ione ist abhängig von deren Wertigkeit, so daß das zweiwertige Atomion Ca mit einer doppelten, das dreiwertige Atomion Fe der Ferriverbindungen mit einer dreimal so großen Elektrizitätsmenge geladen ist als die einwertigen Ione, z. B. das Atomion H und K und das Hydroxylion OH.

Indem sich die aus den Elektrolyten abgespaltenen Ionen an die kolloidartigen Körper anlagern, beladen sie auch diese mit Elektrizität und bewirken je nach der Beladung mit gleichnamiger oder mit entgegengesetzter Elektrizität eine Abstoßung, also eine Zerteilung oder eine Anziehung, also eine Zusammenballung der Kolloidteilchen [2]). Bei den hier-

[1]) S. 148 Anm. 2.

[2]) Man denke immer daran, daß mit gleichnamiger Elektrizität geladene Körper sich abstoßen, mit entgegengesetzter geladene sich anziehen.

bei sich vollziehenden äußerst verwickelten und trotz aller Aufklarungsversuche durch die in neuerer Zeit immer lebhafter einsetzende Kolloidforschung noch wenig durchsichtigen Vorgangen uben nicht nur Art und Stärke der elektrischen Ladung der beteiligten Ionen, sondern auch die Art der Kolloide selbst und ihres Losungsmittels, ferner das Verhältnis der neu entstehenden Verbindungen zueinander, ihre größere oder geringere Loslichkeit und vieles andere eine bestimmende Wirkung auf das Endergebnis aus[1]).

Hier soll nur noch folgendes hervorgehoben werden: Wie schon ein Vergleich dessen, was oben (§ 81) uber die Krumelstruktur und jetzt uber die Kolloide gesagt wurde, erkennen laßt, gleichen die Umstande, welche die Ausflockung der Kolloidteilchen aus kolloidalen Lösungen, also den Übergang aus dem Sol- in den Gelzustand veranlassen, durchaus denen, welche auch im Boden die Einzelkorn- oder Pulverstruktur in die Krümelstruktur uberführen, und zwar nicht nur bei den wegen ihres hohen Kolloidgehalts besonders wasserreichen Ton-, Humus- und Moorboden, sondern auch bei den trockneren Bodenarten. Auch bei ihnen schafft jeder Regenfall Verhältnisse, die der freien Bewegung der Bodenteilchen gunstig sind und daher alle die für die Fällung der kolloidalen Losungen maßgebenden Faktoren mechanischer und elektrischer Natur (s o.) auch im Boden zur Wirkung kommen lassen

Das Verhalten der Bodenkolloide zum Wasser Über die Fahigkeit der Kolloide, sich äußerst fein im Wasser zu verteilen, und über die Umstande, welche die Verteilung begunstigen und anderseits ihre Ausscheidung in Gelform hervorrufen, ist bei den kolloidalen Losungen berichtet worden. Die beim Ausflocken entstehende, meist gallertartige, „speckige", „schliffige" Masse besitzt die Fahigkeit, große Flussigkeitsmengen durch Imbibition (s. o) aufzusaugen und so festzuhalten, daß sie ihr nur zu einem Teil von den Pflanzenwurzeln entrissen werden kann Hieraus folgt, daß in kolloidreichen Boden die Pflanzen, um ihren großen Wasserbedarf zu decken, weit mehr Wasser vorfinden mussen, als auf kolloidarmen Böden

Nahere Angaben darüber s. u.

Das Wasseraufsaugungsvermögen der Kolloide wie die noch zu besprechenden sonstigen Eigenschaften der Kolloide konnen durch verschiedene Umstände abgeschwächt, ja bisweilen ganzlich vernichtet werden.

Folgen des Austrocknens. Schon unter dem Einfluß der Sonnenwärme

[1]) Eine möglichst klare Übersicht über die in Frage kommenden Erscheinungen gibt die eine wahre Fundgrube für die Ergebnisse der alteren und der neueren Kolloidforschung darstellende Erörterung von P. Ehrenberg, Die Bodenkolloide. (S. Literaturnachweis.)

können Tonteilchen für längere Zeit ihre Benetzbarkeit durch Wasser völlig verlieren[1]) Eine dem Torfhersteller bekannte Erscheinung ist es ferner, daß der unter der Sonnenwärme ausgetrocknete Torf auch bei andauernder Einwirkung von Wasser nicht mehr den früheren speckigen, schliffigen Zustand wieder annimmt Eine sehr üble Wirkung übt der Einfluß der Sonnenbestrahlung auf nacktliegenden Moorboden aus. Unter erheblicher Abschwächung seiner Wasseraufnahmefähigkeit verwandelt er sich in staubigen „Mull" [2]) von ausgesprochener Pulverstruktur, der leicht ein Raub der Winde wird und der landwirtschaftlichen Benutzung solcher Boden große Hindernisse bereitet („Moor- oder Mullwehen"). Gelegentlich der Besprechung der Moore als Kulturboden wird auch die „Dämpfung" der Mullwehen kurz besprochen werden (s. unten S. 220). Noch eingreifender wirkt künstliche Steigerung der Wärme Daß der Ton beim Brennen zu Ziegelsteinen seine kolloidalen Eigenschaften ganz verliert und selbst nach starker Zerkleinerung in Berührung mit Wasser nicht wieder annimmt, ist bekannt. Er ist „irreversibel" geworden[3]).

Beim Eindringen des Wassers in die Kolloid-Gele müssen sich deren einzelne Teilchen voneinander entfernen Das Kolloid „quillt auf" [4]), eine Erscheinung, die man beim Behandeln von Leim oder Stärke mit heißem Wasser oder beim Einlegen einer feuchten Tonkugel in Wasser erkennen kann. Sie zeigt sich auch bei Humusstoffen und beim Torf unserer Moore. So beobachtete der Genfer Naturforscher de Luc, daß das Kedinger

---

[1]) So beobachtet man häufig an staubig trockenen Wegen und Äckern, wie selbst kräftige Platzregen durch die Staubschicht ohne jede Wirkung auf diese hindurchdringen oder seitlich abfließen. ohne dem Boden zugute zu kommen, und erst bei langer anhaltendem („Land-") Regen der Benetzungswiderstand überwunden wird.

[2]) Den Widerstand, den ausgetrocknete Humuskolloide der Benetzung entgegensetzen, hat man bisweilen auf einen Gehalt an wachs- oder harzartigen Stoffen zurückführen wollen. Bei von mir ausgeführten Versuchen, durch Behandeln mit Äther oder Schwefelkohlenstoff ihnen solche unbenetzbaren Stoffe zu entziehen, ergab sich, daß dieses Verfahren völlig wirkungslos blieb. (Ebenso bei Versuchen von Stellwaag mit Äther und Alkohol: Wollny, Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, 1882, S. 216.) Vielmehr laßt sich die Erscheinung ungezwungen dadurch erklären, daß bei ausgetrockneten Böden die Bodenteilchen sich mit einer Lufthülle umkleiden, welche die Benetzung mit Wasser verhindern.

[3]) Als „reversible" (rückwandelbare) Kolloide bezeichnet man solche, welche zwar durch irgendwelche Umstände die Wasseraufnahmefähigkeit für einige Zeit verloren haben, aber bei andauernder Berührung mit Wasser sie wieder gewinnen (wie z. B. der bloß durch Sonnenwärme ausgetrocknete Ton)

[4]) Bei dieser Aufquellung erleidet jedoch die feste Masse des Kolloids selbst eine Verdichtung, da das Volum nach der Aufquellung kleiner ist als die Summe aus dem ursprünglichen Volum und dem Volum der aufgenommenen Flüssigkeitsmenge.

Hochmoor im unteren Elbegebiet bei anhaltendem Regen so stark aufquoll, daß ein Kirchturm, der in trocknen Zeiten von der anderen Seite des Moores aus sichtbar war, infolge des Steigens der Mooroberflache dem Auge entschwand

Mit dem Entziehen des Wassers durch Abzapfen oder Verdunstung vermindert sich wieder das Volum. Die gequollene Masse schrumpft zusammen. Bei völligem Austrocknen eines tonreichen, mit Wasser vollgesogenen Seemarschbodens schwindet sein Volum nach Untersuchungen der Moor-Versuchsstation auf die Halfte Dieselbe Forschungsstätte stellte fest, daß bei allmählichem Austrocknen desselben Bodens das Zusammenschrumpfen zuerst am stärksten, dann immer mehr nachlassend erfolgte. Es kam

auf einen Wasserverlust von je 1 g = 1 ccm

bei Abnahme d. Wassergehalts von	54,4	auf 52,0 %	ein Volumschwund von	1,08	ccm,
„ „ „ „ „	52,0	„ 46,7 %	„ „ „	0,78	„ ,
„ „ „ „ „	46,7	„ 3,0 %	„ „ „	0,61	„ ,
„ „ „ „ „	3,0	„ 1,3 %	„ „ „	0,24	„

Gewisse Torfarten (Lebertorf, Schlammtorf; s S. 116) schwinden beim Austrocknen bis auf ein Zehntel des ursprunglichen Volums. Dabei tritt eine starke Erhärtung und infolge des Volumschwundes ein Rissigwerden der Masse ein, ein Vorkommen, das bei humusreichen schlammigen Bodenarten, wie sie bisweilen beim Ablassen von Seen zuruckbleiben, deren Kultivierung sehr erschweren kann (S. darüber S. 116 Anm 2[1]).)

Dieses Schwinden infolge des Wasserverlustes kann insbesondere, wenn das Austrocknen sehr schnell erfolgt, bei der Ausfuhrung von Gräben und Kanälen im Moor und auf anderen kolloidreichen Boden zur Losreißung großer Bänke unmittelbar an den Bodeneinschnitten führen, wenn nicht durch geeignete Maßnahmen ein langsames Austreten des Bodenwassers gesichert wird.

Sehr auffallige Wirkungen übt der *Frost* auf die Kolloide aus Sie büßen beim Gefrieren einen Teil ihrer kolloidalen Eigenschaften ein. Das Verhalten des tonreichen Seeschlicks und die gunstigen Umwandlungen, welche der aus Seeschlick bestehende Marschboden bei Frost erleidet, wurden bereits S. 73, geschildert Auch die Humuskolloide werden durch niedere Temperaturen stark beeinflußt Aus ihrer kolloidalen „Losung“ werden sie bei Wärmeentziehung ausgefallt, also aus dem Sol-

[1]) Fleischer, Die Materialien zur Düngung und Meliorierung des Moorbodens, Landwirtschaftl. Jahrbücher 1883, S. 222.

[2]) Ein Beispiel bietet das Dimmernseegebiet bei Bischofsburg in Ostpreußen Die durch Senkung des Dimmernsees trockengelegten Ländereien konnten nur dadurch in Kulturboden umgewandelt werden, daß man durch Überdecken des Seeschlamms mit einer Sandschicht die Wasserverdunstung stark einschrankte.

in den Gelzustand übergeführt. Gut zersetzter älterer Moostorf läßt nach dem Gefrieren einen erheblichen Teil des früher festgehaltenen Wassers abfließen und verliert infolge des Frostes viel von seiner Fähigkeit, beim Austrocknen zu einer dichten harten Masse zusammenzuschrumpfen (Moor-Versuchsstation [1])). Die gleiche Erscheinung ist in minderem, aber noch sehr erkennbarem Maße bei dem jüngeren Moostorf beobachtet worden [2]).

Die große Oberflächenausbildung der Kolloide ermöglicht ihnen nicht nur die Festhaltung großer Wassermengen, sie gibt ihnen auch die Fähigkeit, feste und luftförmige Stoffe an sich zu lagern und festzuhalten. Diese Erscheinung bezeichnet man nach Ostwald im Anklang an die auf chemischen Wirkungen beruhende *Ab*sorption als *Ad*sorption (auch physikalische Absorption). Auch die Adsorption, über die unten (§ 106—109) eingehender berichtet werden soll, wird durch alle die Faktoren, welche auf die kolloidalen Zustände einwirken (durch Austrocknen, Frost u. a. m.) erheblich beeinflußt.

Kennzeichnend für das Verhalten der Kolloide sind endlich noch zwei eng zusammenhängende Eigenschaften, die bereits früher hier berührt worden sind, ihre *Plastizität* und ihr *Klebevermögen.*

Mit der äußerst feinkörnigen Beschaffenheit der als Kolloide auftretenden Stoffe hängt auf das innigste ihre Knetbarkeit, Bildsamkeit, Plastizität zusammen. Sie tritt nur in die Erscheinung, wenn die Kolloide feucht, also ihre Teilchen von Flüssigkeitshüllen umgeben sind. Wenn auch nach den früheren Auseinandersetzungen alle Stoffe den Kolloidzustand annehmen können, so muß man doch im Hinblick auf ihr Verhalten zwischen Stoffen unterscheiden, die *gewöhnlich* als Kolloide und solchen, die *gewöhnlich* als Kristalloide auftreten. Bei den ersteren werden die kolloidalen Eigenschaften überwiegen. Sie werden sich durch besondere Kleinheit ihrer Teilchen, also durch besonders starke Oberflächenentwicklung und besonders starke Oberflächenanziehung auszeichnen. Ihnen gehören z. B. die als ausgezeichnete Klebemittel bekannten „echten" (s. o.) Kolloide: Leim, Stärkekleister, Arabisch-Gummi, von Bodenkolloiden der gleich zu besprechende „*Kolloidton*", weiterhin das Eisenhydroxyd, das Aluminiumhydroxyd und gewisse Humuskolloide an, falls diese Stoffe nicht durch teilweises Austrocknen von ihren kolloidalen Eigenschaften etwas eingebüßt haben. Im Kolloidton hat man ein wasserhaltiges Aluminiumsilikat zu erblicken, das den wichtigsten Teil der verschiedenen Tonkolloide ausmacht, und von dem schon wenige Prozent genügen, um tonigen Stoffen eine starke Bindekraft zu verleihen. In ihm sehen Th. Schlösing (der Ältere) und P. Ehrenberg die vornehmste Ur-

[1]) Fleischer, Die Torfstreu, s. Literaturnachweis.

[2]) H. von Feilitzen, Mitt. des Ver. z. F. d. Moorkultur, 1908, S. 14.

sache für die Plastizität des Tons. Die äußerst feinen Kolloidtonteilchen[1]) umgeben nach diesen Forschern wie eine Hülle die an sich schon sehr feinen und mit großer Anziehungskraft begabten sonstigen Gemengteile der Tone[2]), und ihnen verdanken diese den hohen Grad von Knetbarkeit, Klebrigkeit, Zähigkeit, Bildsamkeit[3]).

Die verklebende Kraft der Kolloide spricht sich auch in ihrer Einwirkung auf Sande, Schotter und Gerölle aus (S. 63). Kieselsäure, Eisenhydroxyd, Ton, Humusstoffe u. a. verkitten jene Überbleibsel der Gesteinszerstörung zu neuen Gesteinsbildungen, oft von sehr fester Beschaffenheit, die man je nach Form und Größe der Gesteinstrümmer als Sandstein, Breccien oder Konglomerate, nach Art ihres Bindemittels als kieselige, eisenschüssige (Raseneisenstein), tonige, Humus-Sandstein (auch Ortstein) bezeichnen kann (s. S. 64). Solange als diese Bindemittel noch feucht sind, lassen sich auch die neuen Gesteinsbildungen leicht zerspalten („Bergfeuchter" Zustand; s. S. 65). Erst nach dem Austrocknen des Klebestoffs erlangen sie ihre bisweilen sehr große Härte.

§ 85.

Kapillarität. Größte und kleinste Wasserkapazität. Außer den Kolloiden beherrscht die Kapillarität das Wasseraufsaugungs- und Festhaltungsvermögen eines Bodens. Sie beruht auf dem Zusammenwirken der Adhäsion einerseits, der Anziehung, welche die Wasserteilchen aufeinander ausüben („Kohäsion"), anderseits. Ein sehr enges Röhrchen (Haarröhrchen), das aus einem von Wasser benetzbaren Stoff besteht, hat, in Wasser getaucht, die Fähigkeit, Wasser entgegen der Schwerkraft um so höher emporzuheben, je enger es ist, und jenes nach dem Herausheben aus der Flüssigkeit in einer gewissen Höhe festzuhalten, die gleichfalls von seinem lichten Durchmesser abhängig ist. Die Kraft, mit der das Wasser gehoben und festgehalten wird, nennt man *Kapillarität*, „Kapillarkraft", „Haar-

---

[1]) Die außerordentliche Kleinheit der Kolloidtonteilchen bringt P. Ehrenberg (a. a. O. S. 105) durch den Vergleich eines Sandkorns mittlerer Größe (als Würfel gedacht von 0,28 mm Seitenlänge) mit einem Kolloidteilchen (von 0,00014 mm Seitenlänge) sehr anschaulich zur Vorstellung. Denkt man sich beide ganz gleichmäßig vergrößert, so verhält sich die Größe eines Kolloidtonteilchens zu der des Sandkorns wie ein Würfel von 0,2 mm Seitenlänge zu einem geräumigen Wohnzimmer von etwa 2,6 m Höhe und 5 m Länge und Breite.

[2]) S. über die Zusammensetzung der Tone S. 65.

[3]) Ein Körper von ausgezeichneter Plastizität ist bekanntlich der sogenannte Glaserkitt, ein tüchtig durcheinander gearbeitetes Gemenge von gebranntem Gips und Leinöl. Auch hier erhöht das Kolloid-Leinöl die Knetbarkeit und Bildsamkeit des Gipspulvers in hohem Grade. Schon die Beimengung von 1 % Leim zu feinem Sandsteinpulver kann dieses nach Schlösing und Ehrenberg zu einer tonähnlichen, sehr plastischen und beim Austrocknen hart werdenden Masse machen.

röhrchenkraft". Bei der engen Zusammenlagerung der einzelnen Teilchen, wie sie im Boden statt hat, sind die zwischen ihnen bleibenden Hohlräume zum Teil so klein, daß sie ein weitverzweigtes Netz von verschieden gestalteten Kapillarraumen darstellen und den Boden befahigen, Wasser von unten aufzusaugen und sowohl dieses als das von oben eindringende festzuhalten. Die Große der Kapillarkraft eines Bodens hängt von der Menge der kapillar wirkenden Zwischenraume und diese von der Große und Form der Bodenteilchen oder jener Teilchengruppen ab, die wir als Krumel bezeichnet haben (S 145) Je kleiner die Bodenteilchen, um so großer ist im allgemeinen die Anzahl der Kapillarraume, um so großer das Aufsaugungsvermogen des Bodens Bei sehr grobkorniger Bodenbeschaffenheit konnen die Zwischenräume so groß werden, daß sie nicht mehr kapillar wirken

Da die Kapillarität das Bodenwasser nur bis zu einer bestimmten, von dem Durchmesser der Kapillaren abhangigen Hohe heben und hier festhalten kann, so wird die Wasserkapazität eines und desselben Bodens verschieden groß gefunden werden, je nachdem die Bodenoberflache wenig oder weit uber den Grundwasserspiegel emporragt, je nachdem also die Kapillaren der verschiedenen Bodenschichten ganz oder nur teilweise vom Wasser erfullt sind. Ist der Wasserspiegel nur so weit gesenkt, daß alle Haarrohrchen eines Bodens bis obenhin mit Wasser gefullt bleiben, so ergibt die Bestimmung der festgehaltenen Wassermenge die *„volle"* oder *„größte" Wasserkapazitat* des Bodens Sinkt dagegen das Grundwasser so tief, daß die feinen Hohlraume nur nach Maßgabe ihres Wasserhebungsvermogens mit Wasser gefullt bleiben, zum Teil also wasserfrei sind, so findet man die *„kleinste"* oder *„absolute" Wasserkapazitat* [1]).

§ 86.

Die Bewegung des Bodenwassers. *Das Eindringen des Wassers in den Boden. Durchlassigkeit.* Das in den atmosphärischen Niederschlagen auffallende oder von hoheren Stellen auf die Bodenoberfläche auffließende Wasser dringt in die letztere ein und sinkt, dem Gesetze der Schwere folgend, in die Tiefe, soweit es nicht durch die vorhandenen Kapillaren und Kolloide zuruckgehalten wird. Das Vermögen des Bodens, das eintretende Wasser weiter zu leiten, bezeichnet man als seine *Durchlassigkeit.* Bei gleichem Druck des auffallenden Wassers ist sie um so großer, je weiter die Poren, d h die Zwischenraume zwischen den einzelnen Bodenpartikeln sind, je weniger nur langsam mit Wasser sich erfullende Kapillaren und kolloide Stoffe die Leitung des Wassers erschweren Grobkornig-

[1]) Die Unterschiede „große" und „kleinste" Kapazitat sind zuerst von Ad. Mayer erkannt worden.

keit der Bodenpartikel, Krümelung und mechanische Auflockerung erhohen die Durchlassigkeit. In gleicher Richtung wirkt das Eindringen von Tieren und von Pflanzenwurzeln in den Boden (Aufschließen des Bodens durch tiefwurzelnde Pflanzen! — s. auch S. 171) Ganz oder fast undurchlassig fur Wasser kann der Boden werden, wenn seine Partikel sehr klein sind, daher auch sehr enge Zwischenraume bilden, und besonders, wenn sie zu einem großen Teil aus kolloidalen Stoffen, Ton, Humuskörpern bestehen oder wenn sie durch irgendein Bindemittel zu einer steinartigen Masse erhärtet sind, wie z B. beim Ortstein, Raseneisenstein (§ 38, 2). Schon ein geringer Gehalt des Bodens an Eisenverbindungen und die dadurch hervorgerufene großere Bindigkeit der Bodenteilchen kann den Dràntechniker zwingen, den Abstand der Wasserabzuge kleiner zu gestalten. Sehr feinkörnige, mehlige Sande, noch mehr Wiesenkalk und plastischer Ton und dichtgelagerte Moor- und Schlammböden werden, wenn sie einmal mit Wasser erfullt sind, sehr schwer durchlässig fur Wasser Selbst sehr dunne Lagen derartiger Stoffe innerhalb der Bodenschichten konnen das Durchfließen sowie den kapillaren Aufstieg des Wassers vollig verhindern[1]) und so Wasseransammlungen im Boden veranlassen, die dessen naturliche Wasserkapazitat weit ubersteigen

Das Hindernis, das sehr feinkornige Boden dem Eindringen des Wassers bieten, wird noch bedeutend erhöht, wenn die Bodenpartikel an ihrer Oberfläche vollig abgetrocknet sind Über einem stark ausgetrockneten feinkornigen Boden konnen sich (etwa wie auf einem mit Öl getränkten, engmaschigen Gewebe) große Wassermengen ansammeln, ohne in die Tiefe zu fließen. Diese eigentümliche Erscheinung ist zu einem Teil auf den *Widerstand* zuruckzuführen, den die trockenen Bodenpartikel, namentlich ausgetrocknete humose Stoffe, ihrer *Benetzung* mit Wasser entgegensetzen, zu einem anderen Teil beruht sie wahrscheinlich auf dem Widerstand, den die in die Kapillarraume eingedrungene Luft dem Eintreten

[1]) Fast undurchlassige, fur den Pflanzenwuchs verhangnisvolle Schichten bilden sich namentlich leicht, wenn dichte, massive Bodenbestandteile (z. B. Sandkörner) mit kolloiden Stoffen zusammenkommen So bei der Rimpauschen *Moordammkultur*, bei der unter dem Druck der Sanddecke und der Bestellungs- und Erntegerate die unterste Decksandlage mit den obersten Moorerdeteilchen zu einer außerst dichten Schicht sich zusammenlagern kann.

Bei derselben Kulturmethode entsteht bisweilen zwischen dem Moor und der Sanddecke auch dadurch eine undurchlassige Schicht, daß die aus dem Moor austretenden Eisensalze (Ferrokarbonat) bei ihrer Oxydation zu Eisenoxyd die Sandkornchen zu einer harten Masse verkitten.

Die Schwerdurchlassigkeit der Moorboden macht sich namentlich dadurch bemerkbar, daß die Entwasserungsgraben nur auf sehr kurze Entfernung wirken, und daß fast unmittelbar neben tief in das Moor eingeschnittenen Torfstichen der Wasserspiegel oft nur wenige Dezimeter unter die Mooroberfläche gesenkt ist.

des Wassers leistet. Erst nach Überwindung beider Widerstände vermag das Wasser in die freien Zwischenräume des Bodens einzusickern (Siehe auch S 157.)

§ 87.

Der kapillare Aufstieg des Bodenwassers. Die Tatigkeit der Kapillarhohlräume des Bodens wirkt auf den Ausgleich des Wassergehaltes der tieferen wasserreicheren und der oberen wasserarmeren Schichten hin. Nach den vorliegenden Untersuchungen scheint sie erst zu beginnen, wenn der Wassergehalt der tieferen Schichten die Hälfte ihrer Wasserkapazität ubersteigt, und sie ist im allgemeinen um so lebhafter, je großer der Wassergehalt der letzteren

Die *Schnelligkeit*, mit der die Wasseraufsaugung geschieht, und die *Hohe*, bis zu der das Wasser kapillar gehoben wird, pflegen in umgekehrtem Verhältnis zueinander zu stehen. Je weiter die vorhandenen Kapillarraume sind, um so *schneller*, aber um so *weniger hoch* steigt in ihnen das Wasser, je kleiner sie sind, um so mehr ist der Aufstieg verlangsamt, die Steighöhe vergrößert Man kann daher im allgemeinen sagen, daß bei geringem Umfang und bei dichter Lagerung der Bodenpartikel das Wasser langsam, aber um so hoher steigen wird In *grobkornigem* Boden (z. B in grobem Sand) erfolgt der Aufstieg schnell, aber nur bis zu geringer Höhe Schon bei 2 mm Korngröße hort der kapillare Aufstieg auf (Ramann). Beimengungen von *feinkörnigen* Bodenbestandteilen (Ton, Kalkstaub) oder von humosen Stoffen verlangsamen die Geschwindigkeit, befördern aber die Höhe des Aufstiegs. Eine *Lockerung* des Bodens, durch die die Kapillarhohlraume zu Teil erweitert oder ganz zerstort werden, setzt das Aufsteigen des Wassers herab, ein *Festwalzen* lockerer Boden vermehrt und verkleinert zugleich die vorhandenen Kapillaren, bewirkt also ein langsameres, aber um so hoheres Aufsteigen des Wassers (s. u. § 89)

Daß das Vorhandensein von Steinen den Aufstieg verlangsamen, das Vorhandensein von undurchlässigen Schichten (S 162) ihn ganz unterbrechen muß, liegt auf der Hand. Kolloide, auf die die Kapillarzüge stoßen, können die Hebung des Wassers erheblich verstarken, indem sie selbst dann noch die oberhalb belegenen Kapillarräume mit Wasser erfullen, wenn das Kapillarvermögen der tieferen bereits erschopft ist. Sie verlangsamen aber den Aufstieg, indem sie sich erst mit Wasser vollsaugen mussen, bis dieses weiter nach oben dringen kann

§ 88.

Die Verdunstung des Bodenwassers. Solange die uber dem Boden befindliche atmosphärische Luft nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist, unterliegt

das Bodenwasser der Verdunstung. Diese gestaltet sich ganz verschieden, je nachdem der Boden mit Pflanzen bestanden ist oder nicht. Auf *unbewachsenem Boden* findet die Verdunstung im wesentlichen[1]) nur an der Oberfläche statt. Das hierbei abgängig werdende Wasser kann aus den tieferen Schichten nur durch die Wirkung der Kapillarkraft ersetzt werden. Die Größe der Verdunstung hängt also, abgesehen von dem relativen Feuchtigkeitsgehalt[2]) der Luft, ab von der *Temperatur des Bodens*, den an der Oberfläche vorhandenen *Wassermengen* und von der *Schnelligkeit*, mit der das verdunstende Wasser *ersetzt* wird.

Von den auf die Bodentemperatur einwirkenden Faktoren wird erst später die Rede sein. Die an der Oberfläche vorhandene Wassermenge wird von der *Größe der Oberfläche* und von der *Wasserkapazität* des Bodens beeinflußt. Die erstere ist durchaus nicht konstant, sie kann durch kulturelle Maßnahmen, durch Herstellung von Furchen und Hügeln erheblich vergrößert werden[3]). Daß ferner der Wind die Verdunstung um so mehr fördert, je trockener, wärmer und stärker er ist, ist eine bekannte und leicht verständliche Tatsache. Dagegen wird die Verdunstung herabgesetzt durch Maßregeln, die die verdunstende Fläche verkleinern, durch Bedecken des Bodens mit Steinen[4]), grobem Sand und anderen Stoffen, die geringere Kapillarität besitzen als der Boden selbst (grobe Sägespäne, Gerberlohe u. dgl.). Ebenso kann eine Krustenbildung, wie sie besonders leicht auf tonreichen Boden stattfindet, die Verdunstung fast ganz aufheben.

Nackte Böden, die bis an die Oberfläche mit Wasser völlig gesättigt sind, verdunsten unter gleichen Verhältnissen annähernd gleiche Wassermengen. Sinkt der Wasserstand, so macht sich die größere oder geringere Wasserkapazität der verschiedenen Bodenarten insofern bemerklich, als z. B. humose und tonreiche Böden stärker verdunsten als Sandboden. Ist die Austrocknung der Bodenoberfläche stärker geworden, so tritt die Kapillarität in Wirkung, und alle die kapillare Leitung im Boden fördern-

[1]) Gegenüber der Oberflächenverdunstung dürften die im Bodeninnern, innerhalb der mit Luft erfüllten Zwischenräume, verdunstenden Wassermengen nicht ins Gewicht fallen.

[2]) D. i. das Verhältnis des wirklich vorhandenen Wassergehaltes zu den Wassermengen, die die Luft bei dem augenblicklichen Thermometer- und Barometerstande aufnehmen kann.

[3]) Eine Fläche Boden, die mit Wasser völlig gesättigt ist, verliert mehr Wasser durch Verdunstung als eine gleich große in Ruhe befindliche Wasserfläche, weil die rauhe, unebene Bodenoberfläche größer ist als die Wasseroberfläche. Sobald die Bodenoberfläche abgetrocknet ist, kehrt sich natürlich das Verhältnis um.

[4]) Hierbei wirkt zugleich die Abhaltung der erwärmenden Sonnenstrahlen erniedrigend auf die Verdunstung ein.

den Umstande erhohen zugleich das Verdunstungsvermögen des Bodens Nach den früheren Erorterungen werden flachgrundige Böden, deren Kapillarraume bei ihrer geringen Hohe sich bis obenhin mit Wasser fullen konnen, am schnellsten durch Verdunstung austrocknen, tiefgründige Boden um so weniger Wasser durch Verdunstung verlieren, je machtiger sie sind und je höher ihre Oberfläche uber dem Grundwasser liegt

Auf das stärkste beeinflußt wird die Bodenwasserverdunstung durch einen Pflanzenbestand Einmal vergrößert dieser die verdunstende Oberflache um ein Mehrfaches, ferner heben die Pflanzenwurzeln auch aus tieferen Schichten Wasser empor und geben sie der Verdunstung preis. Aus Gefäßversuchen, die Geheimrat E Kruger-Berlin im Jahre 1909 am Kaiser-Wilhelm-Institut in Bromberg ausfuhrte, berechnet sich, daß ein Haferfeld durch Verdunstung weit mehr Wasser verlor. als ihm während der Vegetationszeit in den Niederschlägen zufloß, obwohl die Beschattung der Oberflache durch die Pflanzen auch die Verdunstungsgröße herabsetzt. Je tiefer die Wurzeln in den Boden eindringen, um so größere Wassermengen gelangen aus der Tiefe zur Verdunstung. Trotz der starken Bodenbeschattung im Walde verliert dieser unter gewohnlichen Verhältnissen mehr Wasser durch Verdunstung als der Acker. (Es kommt hinzu, daß ein großer Teil der Niederschläge vom Waldlaub festgehalten wird und gar nicht in den Boden gerät)

§ 89.

Die Kondensation von Wasserdampf *durch den Boden* (*Hygroskopizitat*) und die ***Taubildung.*** Der an seiner Oberfläche vollig ausgetrocknete Boden hat wie alle festen Korper die Fahigkeit, Gase, also auch Wasserdampf, an seiner Oberflache zu verdunsten. Man bezeichnet diese Eigenschaft als *Hygroskopizitat* Die Menge des hygroskopisch gebundenen Wassers ist natürlich in erster Linie abhangig von der Große der kondensierenden Oberflache der vorhandenen Bodenteilchen Obwohl insbesondere humose Böden nicht unbeträchtliche Mengen Wasserdampf aus der Luft absorbieren können, lassen die neueren Untersuchungen es fraglich erscheinen, ob jener Fahigkeit für die Wasserversorgung der Pflanzen eine großere Bedeutung zukommt [1]). Sie tritt nämlich erst dann in Wirkung, wenn der Boden so weit ausgetrocknet ist, daß die darin wurzelnden Pflanzen bereits zu welken anfangen

[1]) Demgegenuber soll nicht verschwiegen werden, daß neuerdings versucht wird (zuletzt von Chr. Mezger, Journ. f. Landw, 69. Bd., Jahrg 1821, S 49), die Bildung des Grundwassers zu einem sehr erheblichen Teil auf die Kondensation des trockenem oder maßig feuchtem Boden durch Flachenanziehung (Adsorption) anhaftenden Wasserdampfs zuruckzufuhren.

Wichtiger ist die durch den Boden hervorgerufene *Taubildung* Sie kann dann eintreten, wenn die Bodenoberfläche sich unter den Taupunkt der mit ihr in Berührung befindlichen Luftschicht abkühlt, aber auch, wenn die Oberflächentemperatur höher als die Lufttemperatur, dagegen niedriger als die der tieferen Bodenschichten ist. In diesem Fall kann die mit Wasserdampf gesättigte Bodenluft an die abgekühlte Oberfläche Wasser in tropfbar flüssiger Form abgeben [1]) Wahrscheinlich ist diese Erscheinung in sehr lockeren und in grobkörnigen Böden mit geringer Kapillarkraft für die Versorgung der Bodenoberfläche mit Wasser, also besonders für das Keimen der Samen von Bedeutung Auch das frische Aussehen der Pflanzenwelt nach tauigen Nächten dürfte der erquicklichen Wirkung des Taues zuzuschreiben sein

§ 90.

Bedeutung des Bodenwassers für die Vegetation *und seine Beeinflussung durch menschliches Eingreifen.* Da die Pflanzen zum weitaus größten Teil (zu 70—90 %) aus Wasser bestehen [2]), das sie in überwiegender Menge durch die Wurzeln aufnehmen, so bedarf die Notwendigkeit eines genügenden Wasservorrates im Boden keiner besonderen Begründung. Zugleich ist das Bodenwasser der wichtigste Träger der mineralischen Pflanzennahrung, indem es die Bodennährstoffe, mit denen die Pflanzenwurzeln nicht in unmittelbare Berührung kommen, in Lösung bringt und ihren Übergang in die Pflanzen vermittelt. So wichtig es daher für die Pflanzen ist, daß der Boden nicht bis auf ein für ihr Gedeihen verhängnisvolles Maß austrocknet, so kann auf der anderen Seite ein *Übermaß* von Bodenwasser die Fruchtbarkeit des reichsten Bodens völlig vernichten [3]) Abgesehen davon, daß ein überreicher Wassergehalt die *Temperatur*verhältnisse des Bodens ungünstig beeinflußt, wirkt er besonders dadurch verhängnisvoll, daß er das Eindringen des *Luftsauerstoffs* in den Boden verringert oder aufhebt Da der der Pflanze zum Leben nötige Sauerstoff zu einem großen Teil durch die Wurzeln eingeatmet wird, so muß sie Not leiden, wenn die sauerstoffhaltige Bodenluft durch Wasser aus dem Boden verdrängt wird. Die vom Bodenwasser selbst gelösten Mengen Sauerstoff (s u.) werden schnell verbraucht, wenn es nicht wenigstens

[1]) Die Taumenge kann auch durch Wasser vermehrt werden, das in regenlosen warmen Nächten aus dem Pflanzenkörper austritt

[2]) Nach sechsjährigen Beobachtungen von Hellriegel verbrauchen im norddeutschen Klima unsere wichtigsten Getreidearten für die Erzeugung von 1 kg oberirdischer, trockener Pflanzenmasse im Durchschnitt etwa 350 kg Wasser. Nach anderen steigt die Menge verbrauchten Wassers auf mehr als das Sechsfache des erzeugten Trockengewichts.

[3]) Ein kennzeichnendes Beispiel hierfür ist die Entstehung von nährstoffarmen Hochmoorbildungen über reichen, aber versumpften Bodenarten.

von Zeit zu Zeit durch frisches Wasser ersetzt wird, das längere Zeit mit der atmosphärischen Luft in Berührung war. Die Bodennasse wird also dann besonders schadlich wirken, wenn es sich um „stehendes“ oder „stauendes“ Wasser handelt, und dies wird unter anderem der Fall sein, wenn im Boden oder unter dem Boden undurchlassige Schichten vorhanden sind, die die Bewegung des Bodenwassers verhindern.

Ein Mangel an Luftsauerstoff wirkt aber noch in anderer Richtung schädigend auf den Pflanzenwuchs, indem er die Entwicklung der heilsamen an der Bodenbildung und der Pflanzenernährung beteiligten, sauerstoffliebenden Bodenbakterien stört und unheilvolle Reduktionsvorgänge hervorruft (S 48 u. 110) Ohne Sauerstoff kann die Humusbildung nur in unvollkommenem Grade vor sich gehen, namentlich werden die stickstoffhaltigen Bestandteile nicht in die vorteilhafteste Stickstoffverbindung (salpetersaure Salze) ubergefuhrt, ja es werden die bereits gebildeten Nitrate unter Abscheidung von freiem Stickstoff wieder zerstört (S 110). Wahrend bei Anwesenheit von Sauerstoff der Kohlenstoff der organischen Bodenbestandteile in das nützliche Kohlendioxyd umgesetzt wird, tritt bei Sauerstoffmangel das vielleicht schadliche Sumpfgas (CH_4) auf (§ 58), der Schwefel der Pflanzenreste wird in das giftige Schwefelwasserstoffgas umgewandelt, die der Pflanzenernährung dienenden schwefelsauren Salze zu Sulfiden reduziert, die Schwefelwasserstoff entwickeln und bei späterer Beruhrung mit Luftsauerstoff gefahrliche Pflanzengifte (Schwefelsäure und Ferrosulfat) liefern konnen Ein Übermaß von Wasser führt ferner auf ton- und humusreichen und auch auf Moorböden leicht eine gefurchtete Erscheinung· das „Auffrieren“ des Bodens und in Verbindung damit das „Auswintern“ der Winterfruchte herbei Indem das die oberen Bodenschichten erfullende Wasser gefriert und sich dabei um 10 % des ursprunglichen Raumes ausdehnt, drangt es die festen Bodenteilchen voneinander, hebt bisweilen die ganze Oberflächenschicht empor, so daß die feinen Pflanzenwurzeln zerreißen und die Pflanzen verdorren, wenn nicht nach dem Auftauen der Boden rechtzeitig durch Walzen wieder angedrückt wird

Vom Einfluß des Bodenwassergehalts auf die „Spat-“ oder „Nachtfroste“ wird gelegentlich der Ausfuhrungen uber die *Bodenwarme* die Rede sein

Ein andauernder Wassergehalt des Bodens, der seiner vollen Wasserkapazität (s o) entspricht, schädigt unter allen Umständen das Gedeihen der Kulturpflanzen Anderseits beginnen die Pflanzen bereits Not zu leiden, wenn der Wassergehalt des Bodens unter ein gewisses, bisweilen noch recht hohes Maß sinkt Letzteres ist bei den verschiedenen Bodenarten sehr verschieden Es steht offenabr in engster Bezeihung zu ihrer Wasserkapazität (§ 83) und daher insbesondere zu ihrem Gehalt an Boden-

kolloiden. Das Ringen des pflanzlichen Organismus im Boden um das zu seinem Gedeihen nötige Wasser beginnt schon beim Samen. Nach den Untersuchungen von A Müntz gibt der Boden an den Samen (es wurden zu den Versuchen Weizenkörner verwendet) erst dann das zum Keimen nötige Wasser ab, wenn seine Wasserkapazität völlig gesättigt ist. Solange das nicht der Fall ist, entzieht er sogar dem Samen Wasser. Es zeigte sich weiter, daß der Gehalt des Versuchsbodens an Kolloiden (tonigen und Humusstoffen) ausschlaggebend war für die zum Keimungsvorgang verfügbare Feuchtigkeitsmenge

bei einem Bodentongehalt von	2,4 %	5,5 %	13,2 %
keimten, die Körner (schon) bei	2,5 %	(erst) bei 4,2 %	7,7 %

Bodenwassergehalt

Bei einem leichten *Sand*boden fand schon bei 0,5 %, bei einem *humusreichen* Gartenboden erst bei 19 % Bodenwasser die Keimung statt (Im ersteren Fall verfügten die Samenkörner über 10 g Wasser, im letzteren mußte das Keimbett 380 g Wasser enthalten, ehe Keimung möglich war

Nach den klassischen Versuchen von H Hellriegel (s. Literaturnachweis) scheint das Optimum des Bodenwassergehalts für die Kulturpflanzen etwa bei 60 % der wasserhaltenden Kraft zu liegen. Ein Wassergehalt von 80 und mehr Prozent wirkte bei seinen Versuchen schädlich, und ebenso hatte ein Sinken unter ein Drittel der Wasserkapazität eine Verminderung der Produktion zur Folge Demgemäß fingen bei Versuchen von J. Sachs Tabakpflanzen auf einem Lehmboden mit 8 %, auf einem Sandboden erst beim Austrocknen auf 1 5,% zu welken an Auf jüngerem Moortorfacker beobachtete Fleischer 1883 eine erhebliche Schädigung von Roggen und Kartoffeln, als der Wassergehalt der obersten, 5 ccm starken Bodenschicht auf 60 % (des feuchten Bodens) gesunken war. Ebenso trat bei Gefäßversuchen auf Hochmoor ein Welken der Haferpflanzen bei 60 % Wassergehalt (des ganzen Gefäßinhalts) ein, während unter gleichen Verhältnissen der auf Sandboden wachsende Hafer bei einem Wassergehalt von 14 % keine Spur von Welken zeigte So fand endlich C A Weber[1]) (Moor-Versuchsstation), daß weißer Senf und Hafer Not zu leiden begannen, als auf jüngerem Moostorf der Wassergehalt auf durchschnittlich 66 % sank, dagegen auf Klei- und Sandboden erst beim Sinken auf 14 und 7 % [2])

[1]) Protok der Zentralmoorkommission, 39. Sitzung, 1897

[2]) Bemerkneswert ist es, daß ein großer Teil der auf Moorboden wild wachsenden Pflanzen mit Vorrichtungen versehen sind, die ihnen einen Schutz gegen allzu starken Wasserverlust gewähren Nach L. Kny (Die Schutzmittel der Pflanzen, Godesberg, Verlag des Keplerbundes, 1910) dient dazu unter anderem die Verkorkung der Außenmembranen der Oberhautzellen (selbst dünne Korkschichten sind fast undurchlässig für Wasser) Ferner eine Einlagerung von Wachs in die Außenmembran, und endlich schützen sich manche Pflanzen vor

Bei den meisten Boden scheint die obere Grenze, wie schon Hellriegel fand, bis zu der das Bodenwasser noch nicht schädlich wirkt, und bei der anderseits den Pflanzen mit Sicherheit die notige Wassermenge geboten wird, etwa bei 60 % der größten Wasserkapazitat zu liegen Ein Sinken des Wassergehaltes unter 20 % der Wasserkapazität ist dagegen von Übel [1]).

§ 91.

Auf die *Herstellung eines fur das Gedeihen der Pflanzen forderlichen Bodenwassergehaltes* kann man durch verschiedene *Maßnahmen* hinwirken Soweit es sich nicht um die unmittelbare Zu- oder Ableitung von Wasser handelt (s. u), werden sie sich hauptsächlich auf die Erhaltung und zweckmäßige Verteilung des vorhandenen Wasservorrats richten und dabei eine moglichst gunstige Gestaltung der *Oberflachen-* und der *Untergrunds*verhaltnisse ins Auge fassen mussen Zur Vermeidung einer ubermaßig starken Verdunstung dient die Steigerung der Wasserfesthaltungskraft durch Anreicherung der oberen Schichten mit Kolloidstoffen, z. B mit tonreichen Bodenarten (Lehmmergel, Seeschlick u dgl), mit humosen oder humusliefernden Stoffen, wie Moorerde, Stalldunger, der Anbau von Grundüngungspflanzen Ferner eine Einschränkung des kapillaren Wasseraufstiegs an die verdunstende Oberflachenschicht durch Lockerung der Oberflache mittels Pflug und Egge behufs Erweiterung der Bodenporen, wodurch zugleich das Eindringen des Regenwassers erleichtert wird Der Landwirt weiß, daß ein rechtzeitiges Lockern des Bodens bis zu einem gewissen Grad die Niederschlage ersetzen kann

Ähnlich wie diese Maßnahme wirkt das Bedecken des Bodens mit nicht oder nur wenig kapillar leitenden Stoffen Das ist z. B. der Fall bei dem auf dem Boden zuruckbleibenden Abfall der Waldbäume (Laub, Nadeln, Zweige), deren Fortnahme (zur Benutzung als Einstreu) insbesondere auf leichten trockenen Boden verderblich zu wirken pflegt [2])

der Wasserverdunstung durch zeitweiliges Schließen ihrer Spaltoffnungen Man darf hieraus ein Zeichen dafur sehen, daß trotz des großen Wassergehalts des Moorbodens die Pflanzen ohne solchen Schutz Not leiden wurden.

[1]) Übrigens ist auch das Aneignungsvermogen fur Bodenwasser bei den verschiedenen Pflanzen verschieden groß. Viele Pflanzen treiben starke „Pfahlwurzeln“, die das Wasser aus großen Bodentiefen aufnehmen konnen und sich durch Seitenwurzeln „1. und 2 Ordnung“ derartig verzweigen, „daß in dem ganzen Wurzelbereich einer großen Pflanze auch nicht *ein* Kubikzentimeter Erde zu finden ist, der nicht von einem Wurzelastchen durchwachsen und ausgebeutet wurde“ (F. Noll) Andere wieder sind vermoge der Ausbildung feinster Wurzelchen mit zahlreichen Wurzelhaaren imstande, sich so innig an die festen Bodenteilchen anzulegen, daß sie diesen selbst einen Teil des durch Flachenanziehung fest anhaftenden Wassers (allerdings nie das ganze) zu entziehen imstande sind

[2]) Allerdings kann nach E Ramanns Untersuchungen diese naturliche Bodendecke den Bodenwassergehalt auch ungunstig beeinflussen, wenn sie als

Daß beim Anbau wertvoller Gartengewächse die Gärtner zur Verhinderung des Austrocknens den Boden mit locker liegenden Stoffen wie Laub, Reisig, Stalldunger bedecken dürfte, bekannt sein

Dahin gehört auch das Bedecken der Weinbergsboden mit Steinen

Von dem Schutz, den das Aufbringen von Stoffen mit geringerer Kapillarität auf Böden mit starkem Verdunstungsvermögen gewährt, macht man bei der Rimpauschen *Moordammkultur* ausgedehnten Gebrauch. Die aufgebrachte mineralische Bodendecke wirkt um so stärker feuchtigkeiterhaltend, je grobkörniger sie ist [1]) (Zugleich verhindert sie das „Mulligwerden" und das Aufreißen der Bodenoberfläche unter dem Einfluß der Sonnenwärme.)

So förderlich eine Verminderung der Kapillarraume in der Oberflachenschicht für die Erhaltung des Bodenwasservorrats sein kann, so schädlich wirkt sie unter Umständen, wo es auf eine Versorgung gerade der oberen Bodenschicht mit Feuchtigkeit ankommt, sei es zum Nutzen keimender Samen, sei es zur Trankung flachwurzelnder Gewächse Schon die in vielen Moostorfböden in großer Menge vorkommenden Wurzelstocke des gemeinen Wollgrases machen sich nach den Beobachtungen von B. Tacke dadurch unangenehm bemerkbar, daß sie den Zusammenhang des im ubrigen stark kapillar leitenden Moostorfs unterbrechen [2])

Besonders empfindlich zeigen sich Wiesen und Weiden auf Hochmoor gegen ein zu schwaches Kapillarvermogen der Oberflächenschicht Selbst bei schwacher Senkung des Grundwassers trocknet in regenarmen Zeiten die zur Herstellung eines geeigneten Keimbettes gelockerte Kulturschicht so stark aus, daß die flachwurzelnden Futtergewächse Not leiden Schon der Tritt des Weideviehs, unter dem das Moor sich verdichtet und seine Haarröhrchenkraft wiedergewinnt, schafft hier bis zu einem gewissen Grade Abhilfe Als ein weit vollkommeneres Mittel zu gleichem Zweck hat sich nach den neueren Versuchen der Moor-Versuchsstation die haufige Verwendung sehr schwerer Beton- oder Eisenhohlwalzen mit Wasserfullung bewahrt [3]) (Eingehenderes darüber s Fleischer, Moorwiesen und Moorweiden, Literaturnachweis.)

„Rohhumus" dem Boden so dicht auflagert, daß sie die schwacheren Niederschläge in sich aufsaugt, den starkeren das Eindringen in den Boden erschwert Er empfiehlt fur solche Falle eine Lockerung der Humusschicht und ein Vermischen mit dem darunter lagernden Mineralboden

[1]) *Sehr* grobkornige, von Feinsand freie Sande konnen die Verdunstung des Bodenwassers soweit einschranken, daß die Pflanzen vom Wasserüberschuß Not leiden.

[2]) In solchen Fallen empfiehlt es sich, die der Vererdung lange Zeit widerstehenden Pflanzenreste mechanisch zu entfernen oder durch Feuer zu zerstören.

[3]) Die mit der Verdichtung der Bodenoberflache eintretende Zunahme der Feuchtigkeit konnte B. Tacke ziffermäßig nachweisen. Es enthielt die 5 cm

Der Austrocknung des Bodens durch die die Verdunstung befordernden Winde sucht man in manchen Gegenden durch die Anlage von Hecken und von Baumanpflanzungen entgegenzuwirken[1]).

Von sehr erheblichem Einfluß auf die günstige Gestaltung der Bodenwasserverhältnisse sind Beschaffenheit und Behandlung der Untergrundsschichten. So wie ein kolloidreicher toniger Untergrund auch die darüber liegenden, leicht austrocknenden sandigen Schichten mit dem nötigen Wasser speisen kann, so können die Wasserverhältnisse eines schweren, von Natur nassen Tonbodens durch Auflagerung auf einen durchlässigen kiesigen Sand sehr verbessert werden. Unter gewöhnlichen Verhältnissen pflegen die tieferen Bodenschichten an Wasser reicher zu sein als die oberen. Daher wird eine Bodenbehandlung, die den Pflanzen ein tieferes Eindringen ermöglicht, ihnen die Wasserversorgung erleichtern. So die Lockerung des Untergrundes durch Grubber, Untergrundspflüge und ähnliche Geräte, ferner der Anbau tiefwurzelnder Pflanzen, so besonders der tief eindringenden Lupine, aber auch anderer Schmetterlingsblütler, wie Klee, Erbsen, Bohnen, die nicht nur die Fähigkeit besitzen, sich selbst aus den tieferen Bodenschichten mit Wasser zu versorgen, sondern die letzteren auch durch die hinterlassenen Wurzelröhren für die Nachfrucht zugänglich machen.

Die oben erwähnte Hebung des Untergrundwassers in das Wurzelgebiet der Pflanzen durch Förderung der Haarröhrchenkraft (Walze!) hat zugleich die wichtige Folge, daß mit dem aufsteigenden Wasser auch ein Teil der versunkenen löslichen Nährstoffe den Pflanzen wieder zugeführt werden.

Einer Übersättigung des Bodens mit Wasser kann man durch möglichstes Abfangen des Zuflusses sowie durch Abführung des eingedrungenen Wassers nach der Tiefe oder nach den Seiten hin (durch Anlage von Brunnen, („Vertikaldränung") Gräben, Dräns, wo nötig nach Durchbrechung undurchlässiger Bodenschichten) und ferner durch Begünstigung der Verdunstung entgegenarbeiten. Maßregeln, die den kapillaren Aufstieg befördern, werden hier nützlich wirken, also auf der einen Seite möglichste Vergrößerung der Oberfläche (durch Anlage von Rücken-

starke Oberflächenschicht eines gewalzten Bodens im Liter 649 ccm, eines nicht gewalzten nur 505 ccm Wasser, also auf der nicht gewalzten fast 29 % Wasser weniger. Infolge des Walzens stiegen die Durchschnittserträge auf Hochmoordauerwiesen in wenigen Jahren von 5000 auf 7000 kg Heu für 1 ha. Übrigens hat sich auch bei Graslandereien auf Niederungsmoor der Gebrauch der schweren Glattwalzen in hohem Grade bewährt. (Krahmer in der Festschrift des Ver. z. Förd. d. Moorkultur — s. Literaturverzeichnis.)

[1]) Anderseits sind jedoch derartige Anlagen geeignet, die Gefahr der Spätfröste (s. u.), Anmerkung zu verstärken.

Rabatten), anderseits ein Dichtwalzen der obersten Schicht, Entfernung von nicht oder wenig kapillar leitenden Bodenbedeckungen[1]) (s. o.).

§ 92.

Die künstliche Bewässerung. Endlich bietet die direkte Zufuhr von Wasser, wie sie bei der künstlichen Bewässerung von Wiesen und Ackerland vielfach geübt wird, ein Mittel, um den Bodenwassergehalt günstiger zu gestalten. Allerdings hat man bei jener Maßnahme allermeist nicht ausschließlich die Anfeuchtung des Bodens, sondern noch andere Zwecke im Auge. So kann das Überstauen und Berieseln einer Wiese im Frühjahr deren *Temperaturverhältnisse* günstig beeinflussen, weil das Wasser zu dieser Zeit wärmer als der Boden zu sein pflegt[2]). Nicht zu unterschätzen ist ferner die „bodenreinigende" Tätigkeit des mit Luftsauerstoff beladenen Wassers, denn dieser verhindert die Bildung pflanzenschädlicher Reduktionsprodukte im Boden (s. o.) oder zerstört sie, wo sie bereits entstanden sind. Es liegt auf der Hand, daß diese heilsamen („Oxydations"-) Vorgänge nur eintreten können, wenn das Wasser Gelegenheit hatte, reichliche Mengen von Sauerstoff aufzunehmen. Bereits zur Berieselung benutztes Wasser wirkt schwächer oder selbst ungünstig, weil es den gelösten Sauerstoff zum Teil oder ganz verloren und sich dafür mit Kohlendioxyd und mit schädlichen Zersetzungsprodukten des Bodens (z. B. mit Schwefelwasserstoff) angereichert hat. Die reinigende Wirkung des Wassers wird in solchem Fall wieder hergestellt, wenn bei ausgiebiger Berührung mit der atmosphärischen Luft das Kohlendioxyd entweichen kann, die schädlichen Zersetzungsprodukte durch Oxydation zerstört und neue Sauerstoffmengen aufgenommen werden. Man bezeichnet diesen (bereits den alten Römern bekannten) wichtigen Vorgang als die „Selbstreinigung der Wasserläufe"[3]).

---

[1]) So hat sich bei Rimpauschen Moordämmen, die ungenügend entwässert waren, ein zeitweiliges, streifenweises Bloßlegen des Moores bewährt. (Dr. Freiherr von Wangenheim-Kl. Spiegel). Ähnlich wirkt wiederholter Kartoffelanbau mit starkem Behäufeln der Pflanzen. Die obigen Erörterungen lassen zugleich erkennen, daß auf Moorboden, die sich nicht genügend entwässern lassen, das Aufbringen von Bodenarten mit geringerem Kapillarvermögen, als es das Moor selbst besitzt, von Übel ist (s. auch S. 170 Anm. 1).

[2]) Nach Untersuchungen der *Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Münster* (s. König, Literaturnachweis) betrug z. B. die Durchschnittstemperatur bei 33 cm Tiefe:

	Vom 20. Nov. bis 10. Dezbr. 1880	Vom 15. bis 17. März 1881
Im berieselten Boden .	4,8° C.	3,8° C.
Im nicht berieselten Boden	4,3° C.	3,5° C.

[3]) In dem Gehalt des zugeführten Wassers an freiem Sauerstoff wird man neben seiner anfeuchtenden Wirkung den Hauptnutzen der Bewässerung zu suchen haben, der in den meisten Fällen die unmittelbar düngende Wirkung

Eine *düngende* Wirkung kommt dem Bewässerungswasser zu, wenn es aus dem anstehenden Gestein, aus den Abgängen menschlicher Niederlassungen oder gewisser gewerblicher Betriebe [1]) größere Mengen von Pflanzennährstoffen in sich aufgenommen hat. Diese können im Wasser gelöst sein oder als Bestandteile ungelöster Schlammstoffe vom *bewegten* Wasser schwebend erhalten werden („Schlick", „suspendierte" oder „Sink"-stoffe) [2]). Letztere werden auf den bewässerten Boden zum größten Teil abgesetzt, die ersteren fließen, soweit sie nicht von den wachsenden Pflanzen aufgenommen oder vom Boden absorbiert [3]) werden, mit dem ablaufenden Wasser wieder von dannen.

des Bewässerungswassers weit übertrifft Wenn in neuerer Zeit die Besprengung unserer Böden mit fein verteiltem Wasser immer mehr Freunde gewinnt, so glaube ich den Vorteil dieser „*künstlichen Beregnung*" wesentlich in dem hohen Gehalt der mit der Luft in innigster Berührung gewesenen Wassertropfen an Luftsauerstoff erblicken zu sollen

[1]) Nicht selten werden allerdings die natürlichen Wasserläufe auch mit schädlichen Abgängen aus technischen Betrieben derart angereichert, daß sie für landwirtschaftliche Nutzung ganz ungeeignet erscheinen, so namentlich mit freien Säuren, mit Salzen der schweren Metalle (Kupfer, Zink, Eisen u. a.), mit übergroßen Mengen von Natrium-, Magnesium-, Calcium-Chloriden und Sulfaten, die entweder als Pflanzengifte oder auch dadurch ungünstig wirken, daß sie den Boden verschlammen (§ 80) oder durch Wechselzersetzung (S. 147) wertvolle Bodenbestandteile in Lösung und damit leicht in Verlust bringen.

[2]) Nach Untersuchungen der Moor-Versuchsstation (F S e y f e r t, Das Wasser im Flußgebiet der Weser, Bremen, M. Nößler, 1893) wurden in 1000 l Weserwasser im Durchschnitt der wärmeren Jahreszeit der Jahre 1888—1890 bei einer Tiefe von 1½ m gefunden:

	Feste Stoffe	Kali	Kalk	Magnesia	Schwefelsäure	Phosphorsäure	Chlor
Etwa 20 km unterhalb der Stadt Bremen:	g	g	g	g	g	g	g
In Wasser gelöst .	291,0	6,5	76,3	15,4	57,0	Spur	49,7
In Form von Schlick	14,5	0,4	0,7	0,8	0,2	0,3	0,3
Zusammen:	305,5	6,9	77,0	16,2	57,2	0,3	50,0
Etwa 60 km unterhalb der Stadt Bremen (erheblicher Einfluß des Seewassers!):							
Im Wasser gelöst .	8561,3	143,6	176,0	413,1	454,4	Spur	4342,5
In Form von Schlick	258,6	5,5	12,8	6,9	2,2	1,3	7,3
Zusammen:	8819,9	149,1	188,8	420,0	456,7	1,3	4349,8

[3]) Über Bodenabsorption s u. Die Menge der absorbierten Stoffe richtet sich hauptsächlich nach der Beschaffenheit des Bodens Besitzt dieser kein großes Absorptionsvermögen, so kann das Bewässerungswasser selbst reicher an gelösten Stoffen abfließen, als es aufgeflossen ist, so daß also die Bewässerung geradezu eine Verarmung des Bodens herbeiführt Am ehesten kann man noch auf eine Absorption des Kali und der allerdings meist nur in Spuren vorhandenen Phosphorsäure rechnen.

§ 93.

Die Bodenluft und die Durchlüftbarkeit („Permeabilität“) **des Bodens.** Alle nicht von Wasser eingenommenen Hohlräume des Bodens sind mit Luft erfüllt. Die Bodenluft ist zwar ein Teil der atmosphärischen Luft, sie ist aber in ihrer Zusammensetzung durch im Boden sich vollziehende physikalische, chemische und biologische Vorgänge stark beeinflußt. Das Bodenwasser löst die Hauptbestandteile der Luft, Sauerstoff und Stickstoff nicht in gleichem Maße und bewirkt so eine Verschiebung des Mischungsverhältnisses zwischen beiden Gasen. Es entzieht ferner der Luft ihre leichtlöslichen zufälligen Bestandteile: Ammoniak-, Salpetersäure-, Salpetrigsäure-Verbindungen. Auch die Flächenanziehung der festen Bodenteile mag Veränderungen in dem ursprünglichen Verhältnis von Sauerstoff und Stickstoff herbeiführen. Hauptsächlich aber sind es die Vorgänge chemischer und biologischer Natur, die die Zusammensetzung der Bodenluft bestimmen. Die Oxydation anorganischer Bodenbestandteile, besonders aber die Atmung der lebenden und die langsame Verbrennung der abgestorbenen Pflanzen entzieht der Bodenluft große Mengen von Sauerstoff, und die letztgenannten Vorgänge bereichern sie dafür mit Kohlendioxyd. Die Fäulnis organischer Stoffe führt ihr Schwefelwasserstoff und Sumpfgas zu. Ein Teil ihres Stickstoffs wird durch die Tätigkeit stickstoffbindender Bakterien festgelegt. Je nachdem diese Vorgänge mehr oder weniger energisch verlaufen und je nach der Zusammensetzung der verschiedenen Böden wird natürlich auch die Zusammensetzung der Bodenluft in weiten Grenzen schwanken. Im allgemeinen aber läßt sich sagen, daß die Bodenluft ärmer an Sauerstoff, etwas reicher an Stickstoff und um ein Vielfaches reicher an Kohlendioxyd ist als die atmosphärische Luft.

In 100 Raumteilen enthält

atmosphärische Luft:

Stickstoff	Sauerstoff	Kohlendioxyd
79,1 Raumteile	20,9 Raumteile	0,03—0,04 Raumteile

Dagegen fand Boussingault in 100 Raumteilen

Bodenluft:

Stickstoff	Sauerstoff	Kohlendioxyd
78,80—80,24 Raumteile	18,80—20,03 Raumteile	0,72—5,79 Raumteile.

Die Bestimmung des Kohlendioxyds in der Bodenluft bietet ein Maß für die Energie der Zersetzung bei den organischen Bodenbestandteilen. Nach Untersuchungen der Moor-Versuchsstation (R. Kißling und M. Fleischer) enthielten z. B. 100 Raumteile Bodenluft (auf 760 mm Barometerdruck und 0° berechnet)

Datum	Durchschnittl. Lufttemperatur °C	Hochmoorboden				Niederungsmoorboden	
		Unbesandet		Mit Sand gedeckt		Mit Sand gedeckt	
		Bodentemperatur °C	Raumteile CO_2	Bodentemperatur °C	Raumteile CO_2	Bodentemperatur °C	Raumteile CO_2
5 April . . .	10,60	2,00	**0,55**	2,70	**0,18**	7,00	**1,29**
20. August bis 1. September	25,25	19,18	**1,68**	20,32	**1,27**	19,49	**4,21**

Hiernach ist der Gehalt der Bodenluft an Kohlendioxyd in der wärmeren Jahreszeit weit höher als in der kälteren. Ferner: die Bedeckung des Hochmoorbodens mit Sand vermindert den Gehalt der Bodenluft an Kohlendioxyd und endlich: der Kohlendioxydgehalt der Bodenluft des Niederungsmoores ist weit größer als der des Hochmoores. Und aus diesen Ergebnissen wird man mit großer Sicherheit schließen dürfen: in der wärmeren Jahreszeit ist die Umsetzung der organischen Bodenbestandteile eine weit energischere als in der kälteren. Die Bedeckung des Hochmoorbodens mit Sand setzt die Umsetzung der organischen Bodenbestandteile herab. Die Zersetzung der niederungsmoorbildenden Pflanzenteile erfolgt schneller als die der hochmoorbildenden.

Aus den früheren Erörterungen über die Bedeutung der Bodenluft für die Kulturpflanzen geht hervor, daß deren Gedeihen an einen häufigen Wechsel der Bodenluft, namentlich an den Ersatz ihres zu Oxydationsprozessen und zur Wurzelatmung der Pflanzen verbrauchten Sauerstoffs durch atmosphärischen Sauerstoff und an die Entfernung der dem Pflanzenleben schädlichen Gase gebunden ist. Der Luftaustausch zwischen Boden und Atmosphäre wird im wesentlichen durch drei Faktoren vermittelt: durch *Temperaturunterschiede* der Bodenschichten und der Luft, durch die *Diffusion* der Gase und durch verdunstendes und *fließendes Wasser*. In der kälteren Jahreszeit steigt die wärmere Bodenluft nach oben und wird durch die kältere und daher schwerere atmosphärische Luft ersetzt. Die *Diffusion*, d. i. das allen gasförmigen Körpern eigene Bestreben, sich gegenseitig zu durchdringen und, unabhängig von ihrer spezifischen Schwere, sich gleichmäßig miteinander zu vermischen, kommt in allen Jahreszeiten zur Geltung, sobald nur die Bodenbeschaffenheit den Ein- und Austritt von Luft gestattet. Sie vollzieht sich um so leichter, je größer und zahlreicher die Hohlräume im Boden sind. Sehr dicht gelagerte Bodenschichten sowie die Erfüllung der Hohlräume mit Wasser können sie völlig verhindern. Nach dem Diffusionsgesetz diffundiert ein Gas um so schneller, je geringer sein spezifisches Gewicht ist. Das bei der Oxydation der humosen Bodenbestandteile sich bildende Kohlendioxyd

(CO_2) ist von allen hier in Frage kommenden Luftarten die schwerste, es vermischt sich am langsamsten mit den übrigen Luftbestandteilen, und auch deswegen ist die Bodenluft stets reicher daran als die atmosphärische Luft. Endlich wird der Luftwechsel im Boden durch Verdunstung des Bodenwassers und durch Eindringen von atmosphärischen Wasser im den Boden gefördert. Durch die Bodenwasserverdunstung wird ein großer Teil der Bodenhohlräume dem Eindringen der atmosphärischen Luft geöffnet. Das auf den Boden fallende und einsickernde Regenwasser bereichert durch den eigenen Gehalt an Luftsauerstoff, besonders aber dadurch den Boden, daß es beim Einsickern eine saugende Wirkung auf die atmosphärischen Gase ausübt.

§ 94.

Einfluß menschlichen Eingreifens auf die Durchluftung des Bodens. Es liegt auf der Hand, daß alle auf die Herstellung des Krümelzustandes und auf sonstige Lockerung des Bodens gerichteten Maßnahmen, wie Pflügen, Eggen, Hacken, das Einbringen von auflockernden Materialien (von frischem strohigen Stalldünger, groben Torfstücken u. dgl.), ferner das Durchbrechen sehr dichtgelagerter Bodenschichten (z. B. des Tones, des Ortsteins, des Raseneisensteins), endlich eine tiefere Wassersenkung, das Eindringen der atmosphärischen Luft erleichtern müssen [1]). In ähnlicher Weise, wie es durch den Regen geschieht, sucht man auch durch die seitliche Zufuhr von Wasser über die Bodenoberfläche („Berieselung") den Boden mit Luftsauerstoff zu versorgen. Je mehr Luftsauerstoff das Rieselwasser vorher aufnehmen konnte, um so wohltätiger wird nach dieser Richtung hin seine Wirkung sein (§ 92).

§ 95.

Das Verhalten des Bodens gegen die Wärme. Das Gedeihen der Pflanze ist an gewisse Wärmegrade gebunden, unterhalb und oberhalb deren ihre Lebenstätigkeit gefährdet wird und aufhört. Die ihr zur Verfügung stehende Wärmemenge richtet sich einerseits nach den örtlichen klimatischen Verhältnissen, anderseits nach der Beschaffenheit des Bodens, den man als einen von den Sonnenstrahlen gespeisten Wärmebehälter [2])

---

[1]) In neuerer Zeit wurde zur Förderung der Bodendurchluftung vom Oberlandmesser F r i e d e r s d o r f ein Verfahren ausgearbeitet, welches durch ein Netz von Dränröhren eine Luftbewegung im Boden bewirken soll. Siehe darüber die Ausführungen von Geh. Reg.-Rat K r ü g e r - Berlin, D. Landw. Presse 1912 Nr. 53, und von Baurat M i e r a u , Mitt. d. Ver. z. Förd. d. Moork. Jahrg. 1913, S. 2.

[2]) Allerdings besitzt die Erde auch eine gewisse, nur zum Teil von den Sonnenstrahlen bedingte Eigenwärme, die sich (im Mittel der Beobachtungen auf 30 m je um 1° zunehmend) in größeren Tiefen sehr bemerklich macht, aber

ansehen kann Je mehr Wärme dieser aufnimmt, je mehr er davon für die Pflanzen verfügbar hält, um so wohler werden sich die letzteren im allgemeinen befinden

Absorption der Sonnenstrahlen Der Boden empfängt unter sonst gleichen Verhältnissen[1]) von der Sonne um so mehr Wärme, je günstiger seine Lage zu den auffallenden Sonnenstrahlen und je größer sein Absorptionsvermögen für die letzteren ist. Gegen *Süden* und *Osten* geneigte Flächen werden stärker von der Sonne bestrahlt als *nördliche* und *westliche* Hänge und müssen daher im allgemeinen wärmer sein als die letzteren[2]). Die Strahlenmenge, die vom Boden aufgenommen und zu seiner Erwärmung verwendet wird, richtet sich nach der Beschaffenheit der Bodenoberfläche. Je *rauher* die Oberfläche, um so mehr Bodenteilchen können durch die Sonnenstrahlen Wärme empfangen, je *dunkler* ihre Farbe, um so mehr Strahlen werden von ihr absorbiert und in Wärme umgesetzt[3]).

§ 96.

Die von den Sonnenstrahlen der Erdoberfläche mitgeteilte Wärme pflanzt sich durch *Leitung* in die tieferen Bodenschichten fort, und zwar

den Pflanzen an der Oberfläche nur in Ausnahmefällen zugute kommen dürfte. Ferner wird durch die unablässig, insbesondere im *gedüngten* Boden sich vollziehenden chemischen Umsetzungen Wärme erzeugt, deren Mengen aber wahrscheinlich gleichfalls so unbedeutend sind, daß wir sie unberücksichtigt lassen können Auch durch physikalische Vorgänge kann eine Erwärmung hervorgerufen werden So entwickelt sich bei der Aufnahme von Wasser durch trockenen Boden infolge der hierbei stattfindenden Verdichtung des Wassers an der Oberfläche der Bodenbestandteile Wärme, die man nach A. Mitscherlich als „Benetzungswärme“ bezeichnet Ihre Menge ist von der Art, Form und Größe der Bodenbestandteile abhängig, aber zu gering, um für den Pflanzenwuchs in Frage zu kommen. Ihre Bestimmung bietet jedoch ein brauchbares Maß für die Größe der Bodenoberfläche (Summe der Oberflächengrößen sämtlicher festen Bodenteilchen), deren Feststellung für zahlreiche Zwecke der Bodenkunde wünschenswert ist (s u a. die Ausführungen über die Kolloide).

[1]) Es wird hier von den Umständen abgesehen, die eine Verminderung der Bestrahlung herbeiführen, wie z. B. die Beschattung des Bodens, das Bedecken desselben mit schlechten Wärmeleitern, ein dichter Pflanzenbestand u. a. m.

[2]) Diese Tatsache spricht sich besonders deutlich in dem höheren Wert der nach Süden geneigten Weinbergsboden, aber auch Ackerländereien aus. So hat man in den nordwestdeutschen Marschgegenden sich bisweilen genötigt gesehen, durch hohe Wölbung der Ackerbeete wenigstens einen Teil der angebauten Pflanzen dem Wasserübermaß zu entziehen, und hier pflegen die südlichen Abhänge der Äcker sich durch freudigeren Wuchs auszuzeichnen

[3]) Die von der Sonne ausgehenden Wärmestrahlen sind teils dunkel, teils hell. Die letzteren bezeichnet man auch als „Lichtstrahlen“ Von hellen Boden werden im wesentlichen nur die dunklen Wärmestrahlen aufgenommen, die hellen zurückgeworfen (Nur deswegen erscheinen uns diese Boden hell) Dunkle Boden nehmen nicht nur die dunklen, sondern auch die hellen Strahlen auf und verwerten beide Strahlengattungen zur Erwärmung ihrer Masse

um so schneller, je größer das *Wärmeleitungsvermögen* des Bodens ist. Das Wärmeleitungsvermögen der verschiedenen *festen* Bodenbestandteile weicht voneinander etwas, aber nicht sehr ab (die Unterschiede dürften für den Pflanzenwuchs ohne Bedeutung sein). Es ist etwas größer als das des Wassers. Von allen Bodenbestandteilen leitet die Bodenluft die Wärme bei weitem am schlechtesten (fast 30mal schlechter als das Wasser). Im allgemeinen wird man sagen können, daß die Wärme am schnellsten sich im Boden fortpflanzen wird, je weniger luftfassende Räume der Boden enthält und je mehr die vorhandenen Hohlräume von Wasser erfüllt sind.

Die Erwärmung des Bodens hängt aber nicht bloß von der durch die Sonnenstrahlen ihm zugeführten Wärmemenge und von deren Fortpflanzung, sondern in hohem Grade auch von der größeren oder geringeren Erwärmungsfähigkeit der Bodenbestandteile, von ihrer „spezifischen Wärme" oder „Wärmekapazität" ab.

§ 97.

Die spezifische Wärme [1]) der verschiedenen festen *mineralischen* Bodenbestandteile ist nach den vorliegenden Untersuchungen keine wesentlich verschiedene [2]). Die Unterschiede kommen für die natürlichen Verhältnisse kaum in Betracht gegenüber der weit überwiegenden Wärmekapazität des flüssigen Bodenbestandteils, des *Bodenwassers*. Um Wasser um einen Grad zu erwärmen, bedarf es einer etwa doppelt so großen

---

[1]) *Spezifische Wärme* oder *Wärmekapazität* eines Körpers nennt man die Wärmemenge, die ihm zugeführt werden muß, um seine *Gewichts-* oder *Raumeinheit* (also 1 g oder 1 ccm) um einen Grad des 100teiligen Thermometers zu erwärmen. Beim Wasser ist es gleichgültig, ob man die spezifische Wärme auf Gewicht oder Raum bezieht, bei den übrigen Körpern liegen die einerseits auf Gewicht und anderseits auf Volum berechneten Zahlen um so weiter auseinander, je mehr ihr spezifisches Gewicht von dem des Wassers abweicht. Da für die Pflanzen der ihnen zur Verfügung stehende Boden*raum* wichtiger ist als das Boden*gewicht*, so ist es praktischer, die spezifische Wärme des Bodens und der Bodenbestandteile auf das Volum zu beziehen (s. weiter Anm. 2).

[2]) Nach C. Lang (Wollny: Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, 1878) beträgt die spezifische Wärme von

	Quarzsand	Kalksand	Ton	Torf	
auf die Raumeinheit bezogen:	0,517	0,582	0,576	0,601	Kalorien,
auf die Gewichtseinheit bezogen:	0,196	0,214	0,233	0,477	Kalorien,

oder, wenn man die Wärmemenge, die einem Kubikzentimeter oder einem Gramm Wasser zugeführt werden muß, um es um 1° C. zu erwärmen, als eine „Kalorie" bezeichnet, so bedarf zu gleichen Zwecken 1 ccm Quarzsand einer Wärmezufuhr von 0,517, 1 g Quarzsand einer solchen von 0,196 Kalorien. (Man nennt jene Wärmemenge auch „kleine", dagegen die zur Erwärmung von 1 kg oder 1 l um 1° nötige Wärmemenge „große" Kalorie.)

Wärmemenge, als zu gleicher Erwärmung des gleichen Volums von einem festen Bodenbestandteil erforderlich ist. Da nun gerade die Kolloide und unter ihnen besonders die Humusstoffe in hervorragendem Maße das Wasser aufzunehmen und festzuhalten vermögen, daher stets die wasserreichsten Bodenbestandteile sind, so kommt die geringe spezifische Wärme des *trockenen* Humus im Boden eigentlich nie zur Geltung, ja, man wird bei ihrer stetigen Vergesellschaftung mit großen Wassermengen geradezu sagen dürfen, daß unter natürlichen Verhältnissen die Humussubstanzen unter allen festen Bodenbestandteilen die höchste Wärmekapazität besitzen. Ganz allgemein aber gilt der Satz: Je nasser ein Boden ist, um so größerer Wärmezufuhr bedarf er zur Erhöhung seiner Temperatur, um so schwerer erwärmt er sich. Dazu kommt noch, daß bei nassen Böden die *Verdunstung* größer ist als bei trockneren, und stärkere Verdunstung stets mit einem größeren Wärmeverlust verbunden ist. Bei nassen Böden wird mithin eine größere Menge von Wärme zur Erhöhung der Bodentemperatur und zur Überführung von Wasser in Wasserdampf verbraucht, die für die Pflanzen verlorengeht, und es erscheint der von der Praxis aufgestellte Satz: „*Nasse Böden sind kalte Böden*" durchaus gerechtfertigt.

Wie aber bei Zufuhr gleicher Wärmemengen ein Raumteil Wasser nur etwa halb so stark erwärmt wird als ein gleicher Raumteil fester Bodenbestandteile, so kühlt sich bei Entziehung gleicher Wärmemengen das Wasser auch nur halb so stark ab wie die trockenen Bodenbestandteile. Die Temperatur eines wasserreichen Bodens sinkt daher bei Abkühlung der Außenluft auch langsamer als die eines trockenen, und die *Temperaturschwankungen* sind mithin in dem ersteren geringer als in dem letzteren [1]), soweit nicht durch starke Wasserverdunstung große Temperaturerniedrigungen hervorgerufen werden.

§ 98.

Wärmeausstrahlung. Von der durch die Sonnenstrahlen dem Boden übermittelten Wärme geht durch Ausstrahlung in den Weltraum ein Teil wieder verloren. Wie groß dieser ist und inwieweit er durch die verschiedenen Bodenbestandteile, also durch die Beschaffenheit des Bodens beeinflußt wird, läßt sich aus den bisher ausgeführten Untersuchungen nicht mit Sicherheit erkennen. Nur scheint von vornherein festzustehen, daß der durch Strahlung herbeigeführte Verlust um so bedeutender sein wird, je größer die Bodenoberfläche, je rauher der Boden ist.

„*Spätfröste*" oder „*Nachtfröste*". Die Wärmestrahlung des Bodens ist

---

[1]) Der Gleichmäßigkeit des *Seeklimas* und den großen Temperaturschwankungen des *Kontinentalklimas* liegen dieselben Ursachen zugrunde.

als die vornehmste Ursache eines Ereignisses anzusehen, das selbst in gemäßigten Klimaten in Frühjahrs- und Sommernächten nicht selten auftritt und die Hoffnungen des Landwirts und Gärtners vernichten kann. Der Vorgang der Spät- oder Nachtfroste schließt zahlreiche noch rätselhafte Erscheinungen ein insofern, als das beobachtete Auftreten sowie auch das stellenweise Ausbleiben von Schädigungen sich häufig nicht mit den allgemeinen Erfahrungen in Übereinstimmung bringen lassen. Die Froste treten nur in windstillen und klaren Nächten (auf nordwestdeutschen Mooren bis in den August hinein) auf. Neblige Luft und Gewolk verhindern sie (wie auch künstliche Entwicklung von Rauchwolken als wirksames Schutzmittel dient). Auch Luftströmungen, welche die unter 0° abgekühlte Luftschicht durch wärmere Luft ersetzen, wirken dem Erfrieren der Pflanzen entgegen. Dagegen sind die in Bodenvertiefungen oder im Schutz von höheren Gegenständen befindlichen Pflanzen gewöhnlich am stärksten gefährdet.

Wenn auch ein Übermaß von Bodenwasser und die dadurch veranlaßte Steigerung der Verdunstung den Wärmeverlust noch verstärken muß, so zeigt doch die Erfahrung, daß trockene Böden stärker von Spätfrösten leiden als normal feuchte. Die Ursache ist in ihrem schwächeren Wärme*leitungs*vermögen (s. o.), zu suchen, das nicht ausreicht, um durch Zufuhr aus den tieferen Schichten den Wärmeverlust auszugleichen. (Damit hängt es zusammen, daß Maßnahmen, die eine Anfeuchtung des Bodens zur Folge haben, zugleich ein Schutzmittel gegen die Fröste bilden. So die Zufuhr von Kalidungesalzen, die durch Wasseranziehung aus der Luft den Boden feuchter machen [1].)

§ 99.

Beeinflussung der Bodenwärme durch menschliches Eingreifen. Durch geeignete Erdarbeiten sucht man für besonders wertvolle Pflanzen (z. B. in Weinbergen) die *Neigung* der Bodenoberfläche für das Auffallen der Sonnenstrahlen günstiger zu gestalten. Das Aufbringen *dunkelgefärbter* mineralischer Bodenarten (z. B. dünner Lagen von Basaltschutt) begünstigt die Absorption der Wärmestrahlen. Die Bedeckung des Bodens mit lockeren *lufthaltigen* Materialien (Sägespänen, Gerberlohe, trockenen Torfstücken u. a.) in kalter Jahreszeit verringert die Wärmeleitung und damit die Wärmeabgabe an die Außenluft [2]. Weit wichtiger als derartige,

---

[1]) Die oben erwähnte Wirkung der Kalisalze ist durch zahlreiche Beobachtungen festgestellt. Dagegen ist nach den Untersuchungen der Moor-Versuchsstation von dem durch sie vermehrten Bodenwassergehalt kein Vorteil für die Wasserversorgung der Pflanzen zu erwarten, da das von ihnen festgehaltene Wasser ebensowenig an die Pflanzen abgegeben wird wie der größte Teil des kolloidal festgehaltenen.

[2]) Aber auch die Fortpflanzung der von ihrer obersten Schicht absorbierten Sonnenwärme nach der Tiefe hin.

nur in kleinem Umfang ausführbare Operationen sind die Maßnahmen, die auf eine *günstigere Gestaltung der Wasserverhältnisse*, also bei sehr kolloidreichen Boden auf eine Verringerung, bei kolloidarmen auf eine Verstärkung der Wasserkapazität gerichtet sind. Sie kommen hauptsächlich bei Moorboden in Frage Dahin gehört in erster Linie eine zweckmäßige Wasserregelung und eine Verminderung der Bodenverdunstung, wie sie z B durch das Bedecken mitkornigem Sande und die übrigen in § 91 besprochenen Maßregeln erzielt wird. (Näheres hierüber s Kap. V unter Moorboden)

B. Der Boden als Nährstoffbehälter für die Pflanzen.

§ 100.

Allgemeines. Die höhere Pflanze bedarf zur Erhaltung ihrer Lebenstätigkeit und zum Aufbau ihres Leibes gewisser Stoffe, die sie zum Teil aus der Luft durch ihre oberirdischen Organe, zum Teil vermöge ihrer Wurzeln aus dem Boden aufzunehmen hat. Die ersteren, die „Blattnährstoffe“, sind *Kohlendioxyd* („Kohlensäure“) und *Sauerstoff*, die in unerschöpflichen Mengen die atmosphärische Luft bietet [1]), die anderen, die „Wurzelnährstoffe“, sind neben *Wasser* und freiem *Sauerstoff Stickstoff*, *Kalium*, *Calcium*, *Magnesium*, *Eisen*, *Schwefel* und *Phosphor* Alle diese Stoffe sind für die Ernährung der höheren Pflanzen unentbehrlich. Jeder von ihnen hat im Pflanzenkörper bestimmte Aufgaben zu erfüllen, bei denen ihn kein anderer vertreten kann Ist auch nur einer in unzureichender Menge vorhanden, so kann die Pflanze es nie zum vollen Ertrag bringen, selbst wenn ihr alle übrigen Nährstoffe im Übermaß zu Gebote stehen. Diese bereits von Carl Sprengel-Regenwalde erkannte Tatsache hatte J. von Liebig in dem nach ihm als das „Gesetz des Minimums“ genannten Lehrsatz zusammengefaßt „Die Höhe des Ertrages eines Feldes steht im Verhältnis zu demjenigen, zur völligen Entwicklung der Pflanze unentbehrlichen Nährstoff, der im Boden in geeigneter Form und Beschaffenheit in kleinster Menge vorhanden ist.“

---

1) Gegenüber der üblichen Anschauung, wonach der Kohlensäure- (richtiger Kohlendioxyd-) Gehalt der Luft zu reicher Versorgung der Pflanzen unter allen Umständen genüge, wird in neuerer Zeit besonders von Prof. Dr. Bornemann die Ansicht vertreten, daß man durch „Kohlensäuredüngung“, d h. durch Vermehrung des Kohlensäuregehalts der im Bereich der Pflanzen befindlichen Luftschicht, also besonders durch Verstärkung der Kohlensäureerzeugung im Boden (Stallmist-, Kompost-, Moorerdezufuhr, Gründüngung u. a.) oder auch mittels unmittelbarer Zuführung von Abfall-Kohlensäure die Pflanzenentwicklung erheblich fördern und die Ernteerträge steigern könne. Wenn von anderen Forschern (Pfeiffer, v Seelhorst, Lemmermann, Gerlach) auch die Tatsache selbst nicht in Abrede gestellt wird, so hält man diese doch noch nicht für genügend geklärt, um zu kostspieligen Einrichtungen raten zu können.

Wenn die Fassung dieses wichtigen Gesetzes später auf Anregung von Ad. Mayer, E. Wollny, Th. Pfeiffer u. a. Erweiterungen erfahren hat, so konnte man sich mit Recht darauf berufen, daß die Erträge irgendeiner Kulturpflanze nicht nur von der Menge der vorhandenen Nährstoffe, sondern auch von der Gestaltung zahlreicher anderer „Wachstumsfaktoren", z. B von den Witterungsverhältnissen, von den den Pflanzen zufließenden Wärme- und Lichtmengen, von der mehr oder weniger sorgfältigen Bodenbearbeitung u a m. abhängen Dementsprechend schlug Ad. Mayer die Fassung vor· „Die Höhe und die Güte des Ertrags eines Gewächses steigt und fällt mit der Menge desjenigen Wachstumsfaktors, der in geringster Menge zur Verfügung steht (wobei unter ‚geringst' nichts Absolutes, sonders ein Relatives zu verstehen ist: geringst im Verhältnis zu der Menge, welche von ihm erforderlich wäre, um zusammen mit den anderen einen gewissen Ertrag, zu dem diese anderen ausreichen, zu sichern)."

Liebig hat bei der Aufstellung des Gesetzes nur die Pflanzennährstoffe als denjenigen Wachstumsfaktor im Auge gehabt, den der Wirtschafter durch Verwendung der Einzelnährstoffe in den sog künstlichen Düngemitteln am leichtesten regeln kann und dessen Wirkungen auch selbst dem theoretisch ungeschulten Landmann sowie auch dem Landwirtschaftsschuler am einleuchtendsten dargestellt werden kann[1]).

Neben den oben genannten Stoffen finden sich in allen unter gewöhnlichen Verhältnissen wachsenden Pflanzen größere oder geringere Mengen von Natrium, Aluminium, Chlor, Silicium Ob diese Stoffe zum Gedeihen der Pflanze nötig sind, ist fraglich, da Untersuchungen ergeben haben, daß sehr viele Pflanzen auch ohne Anwesenheit jener Stoffe sich normal entwickeln können Während der in der Bodenluft vorhandene Sauerstoff im freien Zustande von der Pflanze aufgenommen und für ihre Lebenstätigkeit nutzbar gemacht wird, können die übrigen namhaft gemachten Elemente ausschließlich in Form von Verbindungen den höheren Pflanzen als Nahrung dienen. Nur der *Stickstoff* macht scheinbar eine

[1]) Gerade für diese Persönlichkeiten ist es wichtig, durch Gleichnisse, sinnbildliche Vorführungen (Zeichnungen, Modelle, graphische Darstellungen u. dgl.) das Zwingende des Gesetzes, seine innere Notwendigkeit unter möglichster Vermeidung alles Gekünstelten und alles irrtümliche Vorstellung Erweckenden zu veranschaulichen. Zu dem Zweck hat die Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft im Jahre 1910 ein Preisausschreiben für die beste Ausführung einer solchen sinnbildlichen Darstellung erlassen, wobei auch dem Einfluß der übrigen Wachstumsfaktoren Rechnung getragen werden sollte Es hat zwar nicht zu einer vollkommenen Lösung der gestellten Aufgabe, so doch zu einer großen Anzahl von anregenden Einfällen geführt (S darüber den übersichtlichen Bericht von Prof. M. Hoffmann, Das Gesetz vom Minimum, Arbeiten der D. Landw.-Ges., Sonderabdruck 1913.)

Ausnahme insofern, als die zur Familie der Leguminosen gehörigen Pflanzen imstande sind, stickstoffhaltige Pflanzenstoffe zu bilden, selbst wenn ihnen der Stickstoff nur in unverbundener Form zu Gebote steht Wie früher dargelegt wurde, verdanken sie diese Fähigkeit der Vergesellschaftung mit einem Spaltpilz (§ 55), der den freien Stickstoff der Luft in Verbindungen überführen und mit diesen die mit ihm zusammenlebenden Pflanzen versorgen kann. Zur Ernährung der höheren Pflanzen sind Kalium, Calcium, Magnesium, Schwefel und Phosphor in Form von *Karbonaten*, *Silikaten*, *Phosphaten*, *Nitraten*, *Sulfaten*, *Chloriden* geeignet, *Humate* werden wahrscheinlich vor der Aufnahme in Karbonate umgewandelt, zur Versorgung mit *Stickstoff* dienen *salpetersaure* und *Ammoniumsalze*[1]) und solche Stoffe, die bei ihrer Zersetzung im Boden jene Verbindungen liefern (humose Substanzen, Stalldung, Knochenmehl u. a.). Manche der genannten notwendigen Pflanzennährstoffe sind in vielen Böden in so geringer Menge enthalten, daß zur Erzeugung befriedigender Ernten ihre Zufuhr von außen her (z. B. durch die Düngung) erfolgen muß Wir werden daher im folgenden nicht nur den natürlichen *Gehalt* des Bodens an wichtigen Stoffen, sondern auch sein *Verhalten* gegen die zur Vervollständigung seines Nährstoffvorrates künstlich zugeführten Substanzen zu betrachten haben

§ 101.

Die chemische Zusammensetzung des Bodens. Der Boden setzt sich aus den Bestandteilen der an seiner Bildung beteiligten Gesteine, soweit sie nicht durch Wasser oder Wind fortgeführt wurden, den von außen her aus der Atmosphäre und durch die Düngung in ihn gelangten *festen* Stoffen, den Resten des tierischen und pflanzlichen Lebens, das sich in ihm abgespielt hat, dem *Bodenwasser* mit den darin gelösten festen und luftförmigen Stoffen und der *Bodenluft* zusammen, er besteht mithin aus einem Gemenge von *festen*, und zwar von *unorganischen* (mineralischen) und *organischen Stoffen*, *Wasser* und *Luftarten*

Über die Bodenluft, ihre Zusammensetzung und ihre Bedeutung für den Pflanzenwuchs ist das Nötige bereits oben (§ 93) besprochen worden.

§ 102.

Die festen Bestandteile umfassen die oben genannten, für den Pflanzenwuchs unentbehrlichen und andere Stoffe, die zwar für die Pflanzenernährung nicht notwendig zu sein scheinen, aber gewisse wichtige Boden-

[1]) Ob die Ammoniumverbindungen unmittelbar von den Pflanzen als Nährstoff verwendet werden, ist eine noch offene, aber wahrscheinlich mit „ja" zu beantwortende Frage.

eigenschaften beeinflussen. Daß die festen Bodenbestandteile in den verschiedenen Böden in äußerst wechselnden Verhältnissen vertreten sind, kann bei der Verschiedenartigkeit der Muttergesteine und der Mannigfaltigkeit der Bodenentstehungsbedingungen nicht wundernehmen. Die folgende Übersicht, die das Ergebnis einer Reihe von Bodenanalysen wiedergibt, läßt die großen Unterschiede in der Zusammensetzung verschiedener Bodenarten deutlich erkennen.

Tabelle I.

In 100 Teilen trockenen Bodens wurden gefunden

	Mineralböden				Humusboden (humoser Tonboden[5])	Moorböden		
	Sandboden[1])	Lehmboden[2])	Tonboden[3])	Kalkboden[4])		Hochmoorboden[6])	Niederungsmoorboden[6])	Übergangsmoorboden[6])
Organische Stoffe	3,04[7])	4,63[7])	8,54	12,06	21,40	93,29	84,18	89,09
Stickstoff	**0,12**	?	**0,26**	**0,25**	**0,78**	**1,20**	**3,35**	**2,00**
Mineralstoffe	96,96	95,37	91,46	87,94	78,60	6,71	15,82	10,91
Kali (K_2O)	**0,01**	**1,06**	**2,60**	**0,85**	**1,36**	**0,05**	**0,06**	**0,06**
Natron (Na_2O)	0,03	0,37	1,17	0,22	1,16	0,05	0,04	0,08
Kalk (CaO)	**0,17**	**2,86**	**5,97**	**29,96**	**1,91**	**0,28**	**4,06**	**1,17**
Magnesia (MgO)	**0,14**	**0,88**	**2,22**	**0,48**	**1,71**	**0,23**	**0,25**	**0,19**
Eisenoxyd (Fe_2O_3)	**0,74**	**5,20**	**4,60**	**1,16**	**4,11**	} 0,60	4,68	2,45
Tonerde (Al_2O_3)	1,06	7,04	15,12	6,82	15,20			
Kieselerde (SiO_2)	92,50	76,14	54,53	25,44	52,28	5,24	5,63	6,01
Schwefelsäure (SO_3)	**0,01**	**0,01**	**0,17**	**0,10**	**0,01**	**0,20**	**0,87**	**0,33**
Phosphorsäure (P_2O_5)	**0,03**	**0,18**	**0,20**	**0,22**	**0,20**	**0,08**	**0,29**	**0,20**
Kohlendioxyd (CO_2)	0	1,63	4,63	23,54	0,08	0	0	0
Chlor (Cl)	?	?	0,11	—	Spur	Spur	Spur	Spur

§ 103.

Die vorstehenden Zahlen spiegeln zwar die verschiedenartige Zusammensetzung der festen Masse verschiedenartiger Böden wieder, geben aber kein richtiges Bild von den Stoffmengen, die in einem *bestimmten*

[1]) Ritthausen nach Knop, Lehrbuch der Agrikulturchemie, Leipzig 1868.

[2]) Diluviallehmboden (E. Ramann).

[3]) Wesermarschboden (Moor-Versuchsstation).

[4]) Weißer Jura-Kalkboden (E. v. Wolff).

[5]) Russische Schwarzerde (Tschernosjom, C. Schmidt).

[6]) Moor-Versuchsstation.

[7]) Darunter etwas chemisch gebundenes Wasser.

Bodenvolum den Pflanzen geboten werden. Um hierüber Kunde zu erlangen, muß man das *Volumgewicht* der verschiedenen Böden kennen, d. h. wissen, wieviel Trockenmasse unter gewöhnlichen Verhältnissen in einem gewissen Raumteil Boden durchschnittlich enthalten ist[1]). Bei einem dem Pflanzenwuchs zusagenden Feuchtigkeitsgehalt enthält 1 cbm an festen Stoffen.

	Sand-boden	Lehm-boden	Ton-boden	Kalk-boden	Humoser Tonboden	Hochmoor-boden	Niederungs-moorboden	Übergangs-moorboden
etwa:	1500	1200	1000	800	600	120	250	175 kg
Wasser-gehalt:	10 %	20 %	35 %	20 %	40 %	70 %	65 %	68 %.

Aus diesen Daten und den Zahlen der vorstehenden Tabelle berechnet sich der „absolute" Gehalt der verschiedenen Böden an wichtigeren Stoffen wie folgt:

Tabelle II

1 cbm Boden enthält bei seinem durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt.

	Mineralische Böden				Humus-boden	Moorböden		
	Sand-boden kg	Lehm boden kg	Ton-boden kg	Kalk-boden kg	humus-reicher Tonboden kg	Hoch-moor-boden kg	Niede-rungs-moor-boden kg	Über-gangs moor-boden kg
Organische Stoffe	46	56	85	96	128	112	210	156
Stickstoff . . .	1,8	?	2,6	2,0	4,7	1,6	8,4	3,5
Mineralstoffe	145,4	1144	915	704	472	8	40	19,0
Kali	0,6	12,7	26,0	6,8	11,8	0,06	0,15	0,1
Kalk	2,6	34,3	59,7	239,7	11,6	0,2	10,2	2,1
Phosphorsäure .	0,5	2,2	2,0	1,8	1,2	0,1	0,7	0,3

§ 104.

Die Zahlen der vorstehenden Tabelle berechtigen zu den folgenden, für alle Böden gültigen Schlußfolgerungen. Unter den festen Bodenbestandteilen überwiegt zwar bei den eigentlichen Moorböden die Menge

[1]) Unter „Volumgewicht des Bodens" versteht man gewöhnlich das Gewicht eines Raumteils des *völlig trocknen* oder auch des *lufttrocknen* Bodens im Verhältnis zu dem Gewicht eines gleichen Raumteils reinen Wassers (von 4° C). Da hierbei auch die Kontraktion, die manche Böden beim Austrocknen erleiden (§ 84), unberücksichtigt bleibt, ein Rückschluß aus dem Ergebnis der Ermittelung auf die unter natürlichen Verhältnissen, im feuchten Boden, vorhandene Trockenmasse also nicht möglich ist, so erscheint es zweckmäßiger, als Raumgewicht das Gewicht der festen Stoffe anzunehmen, die ein gewisses Bodenvolum bei einem den natürlichen Verhältnissen entsprechenden durchschnittlichen Wassergehalt enthält.

der *organischen Stoffe* weit den Humusgehalt der *mineralischen* Boden (Tab I), indessen bringt es das geringe Volumgewicht der ersteren mit sich, daß die in einem bestimmten Bodenraum enthaltenen Mengen an organischen Stoffen bei manchen Mineralböden hinter dem Gehalt mancher Moorboden (Hochmoorboden) kaum zurückstehen, ja in humusreichem Mineralboden den letzteren übertreffen können (s o Tab II). Der *absolute* Gehalt an *Stickstoff*, der bei allen Boden fast ausschließlich als ein Teil der humosen Stoffe anzusehen ist, kann im Hochmoorboden sogar weit geringer sein als in den stark humosen mineralischen Bodenarten [1])

Wie Tabelle I erkennen laßt, herrschen bei allen Boden ohne Ausnahme unter den mineralischen Stoffen *Silicium-* und *Aluminium*verbindungen, bei einigen auch Verbindungen von *Eisen* und *Calcium* vor, während der Gehalt an *Kalium-*, *Magnesium-*, *Schwefelsaure-* und *Phosphorsäure*salzen weit geringer ist Hinsichtlich des prozentischen wie des absoluten Gehaltes an notwendigen Pflanzennahrstoffen zeigen die verschiedenen Bodenarten die auffalligsten Unterschiede. (Man vergleiche den *Kali*gehalt der Moorboden mit dem der mineralischen, den Kali- und *Kalk*gehalt des Sandbodens mit dem der übrigen Mineralböden, den *Phosphorsaure*gehalt des Hochmoorbodens mit dem Gehalt des Niederungsmoores und der reicheren Mineralboden usw.)

§ 105.

Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit nach der chemischen Zusammensetzung. Die durch die Gesamtanalyse eines Bodens ermittelten Zahlen, wie sie die vorstehenden Tabellen enthalten, geben wohl Aufschluß über seinen Gehalt an den fur die Ernahrung der Kulturpflanzen notigen Stoffen, nicht aber darüber, ob deren Menge ausreicht, um das Bedürfnis einer reichen Ernte zu decken Zwar laßt sich unschwer feststellen, wieviel Stickstoff, Kali, Phosphor, Kalk usw die verschiedenen Pflanzen aufnehmen mussen, um zu reichlicher Produktion befähigt zu werden, aber es entzieht sich in den meisten Fallen unserer Kenntnis, wie weit sie imstande sind, die im Boden vorhandenen Nährstoffmengen zu ihren Zwecken nutzbar zu machen; denn die Stoffaufnahme durch die Pflanzen hängt nicht bloß von den vorhandenen *Stoffmengen*, sondern auch von

[1]) Diese bei oberflachlicher Beurteilung des Bodengehalts auf Grund der chemischen Analyse allermeist übersehene Tatsache klart es auf, warum die meisten Hochmoorboden trotz des hohen prozentischen Stickstoffgehalts ihrer festen Masse zur Hervorbringung einer befriedigenden Ernte der Stickstoffzufuhr im Dunger bedurfen, die bei den Niederungsmooren gewöhnlich nicht nötig ist.

der mechanischen Beschaffenheit der Bodenteilchen [1]) und ganz besonders von dem Löslichkeitszustand der vorhandenen Pflanzennahrstoffe ab Die Pflanzenwurzel ist befähigt, mit Hilfe der in ihr enthaltenen lösenden Agenzien (Säuren) [2]) selbst schwerlösliche Bestandteile der in unmittelbare Berührung mit ihr gelangenden Bodenpartikel sich anzueignen, aber die hierbei stattfindende Nährstoffaufnahme ist insofern ungenügend, als die Wurzel auf dem Wege durch das Stoffgemenge, das wir „Boden" nennen, doch immer nur auf eine beschränkte Anzahl von festen, zu ihrer Ernährung geeigneten Substanzen stoßt. Die Ernährung kann daher allermeist nur dann eine vollständige sein, wenn auch der bewegliche, überall mit der Wurzel in Berührung kommende Bodenbestandteil, nämlich das Bodenwasser, die zur Speisung der Pflanzen nötigen Stoffe aufgelöst enthält.

Um über die Nährstoffmengen, die in den verschiedenen Böden den Pflanzen wirklich zur Verfügung stehen, den Aufschluß zu erhalten, den die Gesamtanalyse des Bodens nicht gibt, ist man seit langer Zeit bemüht gewesen, Lösungsmittel ausfindig zu machen, die etwa dasselbe leisten wie die Pflanze selbst, also aus dem Boden die Nährstoffmengen in Lösung bringen, die für die Pflanzenwurzel unter günstigen Verhältnissen aufnehmbar sind Das Ergebnis derartiger Versuche hat natürlich unter allen Umständen nur einen beschränkten Wert. Es laßt die Mitwirknug der Pflanzenwurzel an der Löslichmachung der festen Stoffe, mit denen sie in Berührung kommt, unberücksichtigt Ferner sind die Mengen von

[1]) Diese ist in hohem Grade von der Art der bodenbildenden Gesteine abhängig. J. Dumont (Biedermann, Zentralbl., Bd. 34, 1905, S. 5 nach Compt. rend. 1904, t 138, p 215) fand in einer Ackererde von

Grignon	La Creuse
8,94 % Kali	8,53 % Kali

Trotz des fast gleichen Kaligehaltes verhielten sich beide Böden gegen Kalidüngung ganz verschieden. Eine weitere Untersuchung zeigte, daß von dem vorhandenen Kali entfielen im Boden von

	Grignon	La Creuse
auf *Feinsand und Ton* . .	83,45 %	29,07 %,
auf *Grobsand*	16,55 %	70,93 %.

Dementsprechend verlangte der Boden von La Creuse eine Kalidüngung, der von Grignon nicht

Es ist ferner klar, daß die Bodenbestandteile pflanzlicher Natur ihre mineralischen Nährstoffe der Vegetation um so ausgiebiger zur Verfügung stellen werden, je leichter zersetzlich und je mehr sie in der Zersetzung vorgeschritten sind

[2]) Neben Kohlensäure scheinen hier auch sog. Pflanzensäuren, wie Äpfelsäure, Weinsäure, Oxalsäure u. a, in Betracht zu kommen Siehe ferner die Ausführungen über „physiologisch" saure und alkalische Salze (S. 55), nach denen auch mineralische Salze innerhalb der Pflanzen freie Säuren abscheiden können.

Pflanzennährstoffen, die die verschiedenen Pflanzen in sich aufnehmen, sehr verschieden, sie hangen zum Teil von der Tiefe und Stärke ihrer Bewurzelung, zum Teil aber auch von dem jeder Pflanzengattung eigentümlichen, bei den verschiedenen Pflanzen verschieden großen Lösungs- und Aneignungsvermögen ab. Die natürliche Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen erstreckt sich über einen langen Zeitraum, innerhalb dessen die mannigfaltigsten, in ihrem Verlauf wiederum von den verschiedenartigsten Verhältnissen (Temperatur, Bodenfeuchtigkeit, mechanischer Zusammensetzung des Bodens u. a. m.) abhängigen, die Löslichkeit der Bodenbestandteile beeinflussenden Vorgänge im Boden, Tätigkeit der Bodenbakterien, Bodenabsorption (s. u.) und -adsorption sich vollziehen, während die chemische Analyse immer nur die im *Augenblick der Untersuchung* in irgendeinem Lösungsmittel löslichen Stoffmengen nachweist. Das Bestreben, durch ein Lösungsmittel — man hat dazu stark verdünnte Mineral- und Pflanzensäuren, ganz oder zum Teil gesättigte Kohlensäurelösungen oder auch Lösungen von gewissen in den Pflanzen vorkommenden Salzen benutzt — den Vorrat an *verfügbaren* Bodennährstoffen zu ermitteln, zieht sich daher mehr und mehr auf den Versuch zurück, die Gesamtmenge derjenigen Nährstoffe zu bestimmen, welche in absehbarer Zeit für das Pflanzenwachstum nutzbar werden können.

Als ausgeschlossen muß es nach dem Gesagten jedenfalls erscheinen, auf rein chemischem Wege einen ziffermäßigen Ausdruck für die Gesamtwirkung der mannigfaltigen Kräfte zu gewinnen, welche im Boden sowie auch in der Pflanzenwurzel auf die Erschließung und auf die Festlegung der Pflanzennährstoffe gerichtet sind, oder mit anderen Worten diejenigen Mengen an Pflanzennährstoffen zu ermitteln, welche der Boden selbst den jeweilig angebauten Pflanzen zur Erzeugung einer Maximalernte zur Verfügung stellt. Dagegen wird man an der Hoffnung festhalten dürfen, daß es der zielbewußten, d. h. auf erreichbare Ziele gerichteten agrikulturchemischen Bodenforschung gelingen wird, die in einem Boden vorhandenen Nährstoffmengen nach ihrer größeren oder geringeren Zugänglichkeit quantitativ in Gruppen zu scheiden. Und auch damit wäre für die Bemessung der Düngung viel gewonnen. Die bisherigen, mit einem gewaltigen Zeit-, Arbeits- und Kostenaufwand ausgeführten Untersuchungen auf diesem wichtigen Arbeitsgebiet haben zweifellos manche wichtige Fingerzeige gegeben. Sie legten die früher kaum geahnten Schwierigkeiten [1]) klar, die sich der Bearbeitung des Problems entgegenstellen, und

[1]) Diese Schwierigkeiten beginnen bereits bei der Entnahme brauchbarer, d. h. den Durchschnittscharakter der zu untersuchenden Fläche darstellenden Bodenproben sowie bei der Abzweigung der verhältnismäßig kleinen Bodenmengen für die chemische Untersuchung. Zur Gewinnung eines Durchschnittmusters ist bei den meisten Böden ein vorheriges Trocknen des Bodens kaum

ihre Ergebnisse warnen vor übertriebenen Erwartungen Sie würden vielleicht noch mehr erreicht haben, wenn man auf Grund der gesammelten Erfahrungen schon früher über einheitliche, bei der chemischen Bodenuntersuchung zu befolgende Methoden sich verständigt hätte.

Wesentlich einfacher als bei den mineralischen Böden liegen die Verhältnisse beim Moorboden Wie in Kapitel II (Vorgänge bei der Bodenkultur) dargelegt wurde und im Kapitel V noch weiter besprochen werden wird, sind die mineralischen Böden aus zahlreichen, in ihrer Zusammensetzung sehr verschiedenen Gesteinsarten hervorgegangen Je nachdem diese oder jene Verwitterungsvorgänge beim Zerfall des Gesteins zu Boden vorwogen, sind die Bestandteile der gebildeten Böden selbst bei den Gliedern einer und derselben Bodenklasse[1]) ganz verschiedener Art und ganz verschieden aufnahmefähig für die Pflanzenwurzeln. Schlüsse, die man aus dem Verhalten *eines* Sandbodens, *eines* Lehmbodens zieht, brauchen daher noch keineswegs für ein anderes Glied derselben Bodengruppe hinsichtlich seines Verhaltens zum Pflanzenwuchs, seines Düngerbedarfs Geltung zu haben Dagegen sind die Moorböden ganz oder doch der Hauptsache nach aus Pflanzenmassen entstanden, deren Übergang in Boden unter weit gleichmäßigeren Verhältnissen erfolgt. Hier werden daher die Bestandteile des entstehenden Bodens im wesentlichen nur von der Art der beteiligten Pflanzen abhängig sein. Man wird daher von vornherein darauf rechnen dürfen, daß das Verhalten eines (aus Moosen und Heidekräutern entstandenen) Hochmoors, eines (hauptsächlich aus Gräsern entstandenen) Niederungsmoores auch maßgebend ist für das Verhalten eines anderen Hochmoors, eines anderen Niederungsmoores Und in der Tat darf man sagen, daß es der neueren Moorforschung gelungen ist, die Mooranalyse zu einem zuverlässigen Mittel zur Bestimmung des Düngerbedarfs unserer Moorböden auszugestalten.

Übrigens darf nicht verschwiegen werden, daß auch die chemische Gesamtanalyse des Bodens, in Verbindung mit der Feststellung des Gehalts an feinsten Teilchen und der mineralogischen Beschaffenheit der gröberen

zu vermeiden Hierbei erleiden aber, wie unten (s. Bodenabsorption) dargelegt werden wird, wichtige Bestandteile (Stickstoff, Kali, Phosphorsäure u. a.) hinsichtlich ihrer Löslichkeit erhebliche Änderungen.

[1]) So kann z B ein Sandboden je nach seiner Entstehung aus hartem oder weichem, aus nährstoffarmem oder reichem Gestein, je nachdem die leichter aufnehmbaren Nährstoffverbindungen dem Boden erhalten blieben oder von Wasser oder Wind fortgeführt wurden, sich gegenüber dem Pflanzenwuchs ganz anders verhalten als ein anderer Sandboden, und ein Gleiches gilt und vielleicht noch in höherem Grade für die Einzelglieder der übrigen Bodengruppen. Man denke nur an die Lehmböden oder auch an die Humusböden, die neben ihrem Humusgehalt beträchtliche und für das Verhalten der Pflanzen nicht selten ausschlaggebende Mengen von Sand, von Ton, von Kalk enthalten.

Gesteinstrummer (gröberer Quarz, Kalk, Phosphate, schwerer oder leichter verwitternde Silikate u. a. m.), nach mehr als einer Richtung schätzbare Anhaltspunkte fur die Beurteilung des augenblicklichen und des dauernden Fruchtbarkeitszustandes mancher Bodenarten bietet. Sie belehrt daruber, ob man von einem Boden eine gewisse *Nachhaltigkeit* erwarten darf oder auf baldige *Erschopfung* rechnen muß. Sie läßt ferner mit größter Sicherheit erkennen, ob gewisse, für die Pflanzen notwendige Stoffe in so geringer Menge vorhanden sind, daß sie, selbst wenn völlig aufnehmbar, für die Erzielung großerer Ernten nicht ausreichen So ist leicht zu berechnen, daß der *Kali-* und allermeist auch der *Phosphorsäure*gehalt der *Moorböden*, bisweilen auch der *Sandboden*, nicht ausreichen würde, um normale Ernten weniger Jahre zu versorgen Auch der durch die Analyse ermittelte *Kalk-* und *Stickstoff*gehalt der Sand- und Moorböden läßt in den allermeisten Fallen einen zuverlassigen Schluß zu, ob ihnen in der Düngung diese Stoffe zugefuhrt werden müssen oder nicht Weit schwieriger liegen die Verhältnisse bei den *Ton-* und *Lehmböden*

Nach den vorstehenden Erörterungen erscheint in den meisten Böden ein reiches Gedeihen der Pflanzen nur dann gesichert, wenn diese die notwendigen Nahrstoffe nicht bloß in Form der festen Bodenbestandteile, sondern auch im Bodenwasser gelost vorfinden Der Gehalt der Bodenflüssigkeit an Pflanzennahrstoffen steht aber in innigster Beziehung zu einer allen Boden in großerem oder geringerem Maß eigentumlichen Fähigkeit, gewisse im Bodenwasser geloste Stoffe aus ihrer Losung auszuscheiden und bis zu einem gewissen Grade festzulegen Diese Fähigkeit nennt man das *Absorptionsvermogen* des Bodens. Sie ist auf Ursachen teils chemischer, teils physikalischer, teils chemisch-physikalischer Natur zurückzufuhren

§ 106.

Die Bodenabsorption. Läßt man durch einen Boden eine Losung von Kaliumchlorid hindurchsickern, so wird ein Teil des Kaliums von ihm festgehalten, das ablaufende Wasser enthalt den anderen Teil des zugefuhrten Kaliums, während das Chlor in ganzer Menge wiedererscheint, nun aber zu einem dem Kaliumdefizit entsprechenden Teil an ein anderes, aus dem Boden aufgenommenes Metall, z. B an Natrium oder Calcium, gebunden ist. Diese Erscheinung bezeichnet man als *Bodenabsorption* Das Absorptionsvermogen des Bodens macht sich, wie schon das obige Beispiel erkennen laßt, fur verschiedene Stoffe in sehr verschiedenem Maße bemerklich Im allgemeinen glaubt man annehmen zu durfen, daß von den in Frage kommenden Stoffen *Phosphorsaure*, *Kalium* und *Ammonium* am starksten, in geringerem Grade *Natrium*, noch schwacher *Calcium* und *Magnesium* und gar nicht oder fast nicht *Chlor*, *Schwefel-*

säure und *Salpetersäure* absorbiert werden. Am leichtesten verständlich ist die Absorption solcher Stoffe, die unmittelbar mit gewissen Bodenbestandteilen unlösliche oder schwerlösliche Verbindungen eingehen. Lösliche *Phosphorsäure*salze finden im Boden Calcium- oder Eisenverbindungen mit denen sie sich zu schwerlöslichem Calciumphosphat oder Eisenphosphat umsetzen, das dann als fester Bodenbestandteil zurückbleibt In ähnlicher Weise kann die Anwesenheit freier Humussäure, freier Kieselsäure (deren Vorkommen im Boden allerdings problematisch ist S 31) auf die Abscheidung von gelöstem *Kalium*, *Calcium*, *Magnesium* u. a. in Form der schwerlöslichen Humate und Silikate hinwirken. Der größere Teil der Absorptionserscheinungen ist aber zweifellos auf verwickeltere Vorgänge, nämlich auf Wechselzersetzungen der im Boden vorkommenden Doppelsilikate mit den im Bodenwasser gelösten Salzen, also auf Wirkungen zurückzuführen, die oben als „komplizierte Verwitterung" bezeichnet und eingehender erörtert wurden (§ 50).

Insbesondere sind es die in der *Feinerde* der Böden enthaltenen *wasserhaltigen*, leicht zersetzlichen *Doppelsilikate* und unter diesen besonders die Zeolithe [1]), die mit den im Bodenwasser gelösten Verbindungen in Wechselwirkung treten, z B. in der Weise, daß ein wasserhaltiges Natrium-Aluminiumsilikat in Berührung mit gelöstem Kaliumsulfat gegen einen Teil seines Natriums Kalium eintauscht (also Kalium „absorbiert"), während das ausgetretene Natrium mit der frei gewordenen Schwefelsäure Natriumsulfat bildet und der Auswaschung durch das Bodenwasser verfällt („Basenaustausch") So ist ferner eine Festlegung von Ammonium durch Calciumzeolith nachgewiesen worden (Th. Pfeiffer und A. Einecke). Das *Maß* derartiger Umsetzungen und *die Art der Endprodukte* hängt, wie früher eingehend besprochen wurde, von der chemischen Affinität (Verwandtschaft) und der Menge der in Wirkung tretenden Stoffe, so namentlich auch des Wassers, ab. Sind die auf die festen Bodenbestandteile, z B auf den Zeolith, einwirkenden Salze in *großen* Wassermengen gelöst, so wirkt auch immer nur eine geringe Menge von Salzteilchen auf die festen Teile des Zeoliths ein, die Umsetzung vollzieht sich langsam, es kann ein großer Teil der absorptionsfähigen Stoffe durch das Bodenwasser aus dem Bereich des chemischen Vorganges entfernt, ja, wenn

[1]) S. S 35 u 41. In der Bodenkunde rechnet man gewöhnlich zu den „Zeolithen" alle jene Doppelsilikate, denen eine besonders große Umsetzungsfähigkeit mit Salzen eigen ist (z. B. auch den Leucit) Daß diese Mineralien für die Absorptionserscheinungen von großer Bedeutung sind, geht besonders daraus hervor, daß die Böden mit hervorragendem Absorptionsvermögen besonders reich an Zeolithen sind, und daß die Absorptionskraft durch die Zerstörung des letzteren, durch Einwirkung von starken Säuren oder durch Glühen vernichtet, dagegen durch Zusatz gewisser Silikate erhöht werden kann

sich die Wassermenge noch vermehrt, der bereits absorbierte Stoff mit den absorbierenden Bodenbestandteilen wieder in Lösung gebracht und ausgewaschen werden. Umgekehrt wird, falls die absorptionsfähigen Salze in *kleinen* Wassermengen gelöst sind, der Angriff auf die festen Bodenbestandteile ein energischerer sein und die Absorption schnell erfolgen [1])

§ 107.

Die soeben geschilderten Vorgänge lassen sich durchweg ungezwungen durch chemische Umsetzungen erklären, bei denen gewisse früher leicht bewegliche Stoffe in schwerlöslichen Verbindungen festgelegt werden Andere Festlegungen erfolgen unter (Umständen, die die Wirkung chemischer Kräfte ausschließen Es ist eine bekannte Tatsache, daß manche feste Körper, z. B. Holzkohle, Platin u a, Gase in ihren Poren oder auch an ihrer äußeren Oberfläche verdichten und mit großer Energie festhalten. Tonsubstanzen saugen begierig Fette und Öle in sich auf Tierische Kohle entzieht gefärbten Flüssigkeiten ihren Farbstoff. Auch bei diesen Erscheinungen kann man von Absorption sprechen Aber sie wird hier nicht durch chemische Umsetzungen, sondern durch die Flächenanziehung hervorgerufen, die gewisse feste Stoffe auf andere luftförmige, flüssige oder feste Stoffe ausüben. Sie ist ausschließlich oder fast ausschließlich eine physikalische Erscheinung und zum überwiegenden Teil an jene Bodenbestandteile geknüpft, die man Bodenkolloide nennt und deren Eigenschaften eben besprochen worden sind (§ 84). Wie schon früher erwähnt wurde, bezeichnet man diese auf „Oberflächenenergie" beruhenden Absorptionsvorgänge als *physikalische Absorption* oder nach einem Vorschlag von W. Ostwald als „*Adsorption*". Als eine fast rein physikalische Wirkung [2]) ist die Absorption des Wassers durch die Bodenkolloide anzusehen.

In § 84 ist das Festhaltungsvermögen kolloidreicher Böden für Wasser und das Nachlassen desselben bei Verlust der kolloidalen Eigenschaften

[1]) Mit diesen Erwägungen steht eine große Reihe von leicht zu beobachtenden Tatsachen in vollem Einklang. Die Menge der absorbierten Stoffe schwankt je nach den *Mengen*, in denen diese dem Boden zugeführt werden, und nach ihrer *Verbindungsform*. — Aus *konzentrierten* Lösungen werden größere Mengen absorptionsfähiger Stoffe durch den Boden zurückgehalten, als aus *verdünnteren*. — Starke Regengüsse oder seitlich in den Boden eindringende Wassermassen können dem Boden große Mengen von bereits absorbierten Stoffen *entziehen* — Bei Bewässerungsanlagen werden durch das Rieselwasser nicht selten größere Nährstoffmengen aus dem Boden ausgelaugt als zugeführt, wenn dasselbe an Nährstoffen selbst sehr arm ist (S. 173) u. a. m.

[2]) *Chemisch* gebundenes Wasser ist für die Pflanzen belanglos, weil es von diesen nicht aufgenommen werden kann (s. auch die Anmerkung zu den Ausführungen über Einwirkung der Kalisalze auf die Spätfröste [S 180].

eingehend besprochen worden. Aber die Kolloide können auch auf andere — luftförmige wie feste — Stoffe adsorptiv wirken. So werden nach Untersuchungen der *Moor-Versuchsstation* (Dr. A. K ö n i g, Landw. Jahrb. 1881) von saurem, von Zeolithen völlig freiem Moostorf ansehnliche Mengen von Ammoniak festgelegt, wobei es sich nicht etwa um eine Umwandlung in eine schwerlösliche Verbindung handelt, da das Ammonhumat leicht löslich in Wasser ist.

Aus weiteren Untersuchungen der Moor-Versuchsstation geht hervor, daß Einwirkungen, durch welche die kolloidalen Eigenschaften abgeschwächt oder zerstört werden, gewisse, vorher den Pflanzen nicht zugängliche Nährstoffe in Freiheit setzen, so daß sie jetzt den Pflanzen zugute kommen können. So geben stickstoffreiche Moore nach dem Austrocknen weit mehr Stickstoff an schwache Lösungsmittel ab als im wasserhaltigen Zustand (Dr. B r u n n e m a n n, 2. Bericht über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation, 1886). Nicht gebrannte Hochmoorboden, die ohne Phosphorsäurezufuhr ganz unbefriedigende Ernten an Kartoffeln, Hafer, Gerste, Erbsen brachten, konnten eine Phosphorsäurezufuhr ganz entbehren, wenn sie ein oder zwei Jahre der Brennkultur (s. u. S. 221, Anm.) unterlegen hatten. (F l e i s c h e r, 3. Bericht der Arbeiten der Moor-Versuchsstation 1891). Daß hierbei nicht eine Überführung der zur Pflanzenernährung untauglichen organischen Phosphorverbindungen (Lecithin, Nuklein) in aufnehmbare Phosphorsäuresalze in Frage kam, ging mit großer Deutlichkeit aus der Beobachtung von B r. T a c k e[1]) hervor, daß eine gleiche Wirkung schon durch Austrocknen des Moores an der Luft, ja schon dadadurch erzielt wurde, daß man durch Behandlung des Bodens mit Alkohol, Äther, Glyzerin ihm einen Teil seines Wassers entzog[2]). Weiterhin wurde durch T a c k e und H. I m m e n d o r f f festgestellt, daß durch Trocknen von Heidemoor dessen Kalk, Magnesia, Kali in Wasser löslicher wurde[1]).

Auch auf mineralischen Boden hat man eine gleiche Wirkung der Abschwächung des kolloidalen Festhaltungsvermögens beobachtet. So berichtet J. V a n h a[3]), daß auf einem Boden, den man zur Zerstörung schädlicher Kleinlebewesen erhitzt hatte, die Ernten um so höher ausfielen, je stärker der Boden ausgetrocknet war.

Das auch bei uns in früheren Zeiten viel geübte „*Rasenbrennen*" verfolgte nicht nur den Zweck, durch die Aschenbestandteile den wild-

[1]) Vierter Bericht über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation, Landw. Jahrbücher 1898, Ergänzungsband I.

[2]) Die Beobachtungen über das Verhalten der Phosphorsäure dem Moorboden gegenüber sind besonders interessant, weil sie eine physikalische Bindung der Phosphorsäure nachweisen, während man bisher in der Absorption dieser Säure immer *nur eine* chemische Wirkung erblickt hatte.

[3]) Österr.-ungar. Zeitschrift für Zuckerindustrie, Jahrg. 1901, S. 146.

wachsenden Pflanzen den Boden zu dungen, sondern auch die physikalischen Bodeneigenschaften günstiger zu gestalten[1]) (wohl hauptsächlich dadurch, daß die feste kolloidale Bindung notwendiger Nährstoffe gelockert wurde).

Es durfte auch nicht zweifelhaft sein, daß die Wirkungen des *Frostes* auf Kolloide (s. S. 158), z. B. auf die Minderung ihrer Wasserkapazität, sich darin äußern werden, daß kolloidreiche Boden nach dem Gefrieren einen Teil der festgebundenen Pflanzennährstoffe nunmehr den Pflanzen zur Verfugung stellen.

Nach den vorstehenden Darlegungen kommen für die Festhaltung gewisser Stoffe im Boden bald chemische, bald physikalische Wirkungen in Frage. Daß dabei Absorption und Adsorption gleichzeitig oder unmittelbar aufeinander folgend beteiligt sein konnen, mag hier nur angedeutet werden. Die Erkenntnis der Tatsache stutzt sich unter anderem auf Untersuchungen mit einem kunstlich hergestellten zeolithartigen, amorphen Doppelsilikat ,dem „*Calciumpermutit*" [2]), das sowohl durch chemischen Basenaustausch als durch seine kolloidalen Eigenschaften auf gewisse Stoffe bindend wirkt [3]).

§ 108.

Bedeutung der Absorptions- und der Adsorptionsvorgänge. Das Absorptionsvermogen für gewisse wichtige Pflanzennahrstoffe ist fur den Haushalt des Bodens und in erster Linie fur seine Aufgabe, den Pflanzen als Nährstoffbehalter zu dienen, von großter Bedeutung. Die Absorptionsvorgänge verhüten es, daß jene Nährstoffe, mögen sie von Natur im Boden enthalten sein und durch den unablässig fortschreitenden Verwitterungsprozeß löslich werden, oder mogen sie durch den Dunger in die Acker- und Wiesenerde gelangen, in ganzer Menge dem auswaschenden

[1]) Nach F. Arends, Das Rasenbrennen, Hannover 1826, nehmen die Tonböden infolge des Brennens eine „milde", krümelige Beschaffenheit an und sind dann leichter als vorher zu bearbeiten. Auch auf den schwereren Tonboden der Eifel ist die „Schiffelkultur", ein Verfahren, wobei die flachgeschalte Pflanzendecke in kleinen Haufen uber die Fläche verteilt und nach dem Abtrocknen verbrannt wurde, lange Zeit ausgefuhrt worden. Man wird uberhaupt annehmen durfen, daß das Brennen des Bodens in dieser oder jener Form eines der ältesten Mittel gewesen ist, um dem Boden Nahrung fur Mensch und Tier abzugewinnen, und daß die „Brennkultur" somit in der Entwicklungsgeschichte der Menschheit eine hochbedeutsame Rolle gespielt hat. (S. daruber Prof. Dr. Ed. Hahn, Die Brandwirtschaft in der Bodenkultur. — Nachrichten aus dem „Klub der Landwirte" Berlin, Jahrg. 1910, S. 5052.)

[2]) Zu Wasserreinigungszwecken von der Firma J. Riedel-Berlin nach Vorschlagen von R. Gans hergestellt und in den Handel gebracht.

[3]) S. G. Wiegner, Journ f Landw., 60. Bd, Jahrg. 1912, S. 111, 197.

Einfluß der atmosphärischen Niederschläge verfallen. Allerdings ist die Zugänglichkeit der absorbierten Stoffe für die Pflanzen erschwert, aber bei ihrer äußerst feinen Zerteilung durchaus nicht aufgehoben. Ihre Aufnahmefähigkeit liegt zwischen der der im Bodenwasser gelösten und der zunächst noch unlöslichen Bodenbestandteile. (S. darüber das unten Folgende.) Ferner üben sie auf die Konzentration der Bodenflüssigkeit eine regelnde Wirkung aus. Es ist festgestellt, daß Nährstofflösungen, die in 1000 Teilen Wasser mehr als wenige Teile gelöster Salze enthalten, das Gedeihen der Pflanzen unheilvoll beeinflussen. Je mehr aber infolge der Verdunstung der prozentische Gehalt des Bodenwassers an gelösten Nährstoffen steigt, um so energischer wird die Absorption, um so mehr wird durch die Bodenbestandteile festgelegt, also der Lösung entzogen [1]).

Aus der Bodenlösung nehmen die Pflanzen den größeren Teil ihrer Nahrung auf. Dadurch wird sie fortwährend verdünnt und somit fähig gemacht, die vorher absorbieten Stoffe wieder aufzulösen. Das Absorptionsvermögen übt mithin auf die *Verhinderung von Nährstoffverlusten* und auf die *gleichmäßige Ernährung* der Pflanzen den heilsamsten Einfluß aus.

Auf der anderen Seite kann sie einer *schnellen und reichen Versorgung* der Vegetation mit Nährstoffen im Wege stehen, weil die dem Boden in leichtlöslicher Form zugeführten Nährstoffe zunächst zur Sättigung des Bodenabsorptionsvermögens und erst in zweiter Linie zur Versorgung der Pflanzen verwendet werden. Nur so ist es zu erklären, daß nach längerer Unterlassung z. B. einer Kalidüngung Jahre vergehen können, ehe eine Kalizufuhr in der Entwicklung der Pflanzen sich bemerkbar macht. Diese Erscheinung läßt zugleich erkennen, daß die Wiederauflösung der absorbierten Nährstoffe eine gewisse Zeit erfordert und daher nicht immer in ausreichendem Maße gerade dann erfolgt, wenn die Pflanze nach bebesonders reicher Nahrung verlangt. Es ist daher von Wichtigkeit, daß die gleichen Wechselwirkungen, die die Absorption der Nährstoffe hervorrufen, die absorbierten Stoffe auch wieder in Lösung bringen können. Treten mit Zeolithen, die Kalium absorbiert hatten, *größere* Mengen von

[1]) Aus Versuchen, die E. Ramann (Bodenfragen, D. Landw. Presse, Jahrg. 1918, S. 29) neuerdings mit Silikaten anstellte, die er auf Lösungen mehrerer Salze einwirken ließ, und bei denen die entstehenden Endkörper durch die größere oder geringere Konzentration der Lösung nicht wesentlich beeinflußt wurden, glaubt der Versuchsansteller schließen zu müssen, daß der Boden die Konzentration der Lösung nicht beeinflußt, daß daher die vielfach gemachte Annahme, wonach die Absorption hohen Salzkonzentrationen in der Bodenlösung entgegenwirke, fallen müsse. Es erscheint mir fraglich, ob diese Versuche, bei denen es sich hauptsächlich um chemische Absorption unter Ausschluß fast aller die Bodenadsorption beeinflussender Bodenbestandteile handelt, maßgebend für das Stoffgemisch sind, aus dem der Boden besteht.

Natrium-, Calcium-, Magnesiumverbindungen (Karbonate, Sulfate, Nitrate, Chloride) in Wechselwirkung, so erfolgt nach dem Gesetz der Massenwirkung und den übrigen früher erörterten Gesetzen wieder ein Austausch der Metalle in der Weise, daß ein Teil des Kaliums wieder in Lösung übergeführt und durch ein in überwiegender Menge vorhandenes Metall ersetzt wird.

Einer der wichtigsten Pflanzennährstoffe, die *Salpetersäure*, unterliegt nicht der Bodenabsorption. Daher kommt es, daß einerseits die Zufuhr von leichtlöslichen Nitraten zu stickstoffbedürftigen Pflanzen eine auffällig schnelle Wirkung ausübt, und daß anderseits die von den Pflanzen nicht aufgenommene Salpetersäure sehr bald dem auswaschenden Einfluß des Bodenwassers verfallen kann.

Der bei der Festlegung der Nährstoffe am wenigsten beteiligte Bodenbestandteil ist der Quarzsand (SiO_2), falls er nicht infolge äußerst feiner Zerkleinerung kolloidale Eigenschaten besitzt (§ 84 S 153). Für die *chemische* Absorption wichtig sind besonders Eisen- und Kalkverbindungen sowie die Silikate, die ersteren wegen ihres Bindungsvermögens für Phosphorsäure, die Silikate, und unter ihnen besonders die Zeolithe, weil sie durch Austausch ihres Calcium- und Natriumgehalts gegen Kalium ein Auswaschen der leichtlöslichen Kaliumverbindungen verhindern [1]) Die *physikalische* Absorption wird dagegen hauptsächlich durch die Bodenkolloide Eisenhydroxyd, Aluminiumhydroxyd, amorphe Kieselsäure und Silikate, tonige und humusartige Stoffe veranlaßt Hieraus geht hervor, daß ein schwaches Absorptionsvermögen den sandreichen, ein stärkeres den Ton-, Lehm-, Humus- und Moorboden zukommt. Die Kalk- und Mergelboden zeigen zwar gegenüber der Phosphorsäure starke Absorptionskraft, dagegen können ihre Calciumverbindungen durch Massenwirkung lösend auf das Kalium wirken. Bei den Niederungsmooren wirkt sowohl die chemische wie die physikalische Absorption bindend, dagegen kommt bei den an Mineralstoffen armen Hochmooren wesentlich nur die Absorption in Frage. Daß diese für die Pflanzenversorgung eine sehr bedeutsame Rolle spielt, zeigen die aufgeführten Beispiele, und es ist anzunehmen, daß die neuere Bodenforschung den Adsorptionsvorgängen und ihren wichtigsten Trägern, den Kolloidstoffen, eine höhere physiologische Bedeutung zuerkennen wird, als dies in einzelnen bodenkundlichen Lehrbüchern bisher geschieht

Nach den vorangegangenen Erörterungen ist wohl kaum noch die Erklärung nötig, daß es sich bei der Absorption nicht um eine absolute Fest-

[1]) Nicht vollständig! Bei großem Kalkgehalt des Bodens oder durch Zufuhr größerer Kalkmengen kann durch Massenwirkung der Kalk das Kali wieder austreiben.

legung der Pflanzennährstoffe, um einen vollen Schutz gegen das Auswaschen durch Regen und Bodenwasser handelt. Dieses wird nur erschwert Ist doch die Tatsache wohlbekannt, daß bei Bewässerungsanlagen durch sehr armes Rieselwasser großere, vorher absorbierte Nährstoffmengen dem Boden entzogen werden konnen, als ihm vom Wasser zugeführt wurden

§ 109.

Beeinflussung der Bodenabsorption und der Adsorption durch menschliches Eingreifen Wie die Ausfuhrungen über die Bodenabsorption erkennen lassen, ist die Festlegung der Nährstoffe im Boden ein sehr verwickelter, bald durch chemische, bald durch physikalische Wirkungen hervorgerufener und durch beide bald in gleicher, bald in entgegengesetzter Richtung [1]) beeinflußter Vorgang Obwohl noch längst nicht alle einschlagigen Erscheinungen restlos aufgeklart sind, ist es doch der neueren Boden- und besonders der Kolloidforschung gelungen, sie so weit aufzuhellen, daß man heute imstande ist, je nachdem es nottut, die Absorptionskraft des Bodens zu steigern oder sie abzuschwachen Als eine fördernde, insbesondere für Sandboden geeignete Maßnahme kommt das Aufbringen tonreicher Stoffe (Lehm-, Tonmergel, Seeschlick), ferner von humusreichen und humusbildenden Mitteln (Stalldung, Gründüngungspflanzen, Moorerde in Betracht Maßgend konnen je nach den vorliegenden Verhältnissen Natrium- und Calciumverbindungen (Kochsalz, Natronsalpeter, Gips [2]) wirken Daß ferner Maßnahmen, die auf die Zerstörung der Bodenkolloide gerichtet sind (Moorbrennen, Schiffeln toniger Böden, vielleicht auch die Begunstigung der Frostwirkung), die adsorptiv gebundenen Nahrstoffe beweglich und fur die Pflanzen aufnehmbar machen, haben die fruheren Erorterungen dargetan

§ 110.

Die Bodenuntersuchung. Bodenreaktion. Prüfung auf einzelne Bodenbestandteile. Von einer eingehenden Besprechung der bewährten Methoden zur chemischen Bodenanalyse muß hier abgesehen werden. Zuverlässige Ergebnisse bei quantitativen Ermittlungen der Bodenbestandteile wird nur der Landwirt oder Kulturtechniker erzielen können, der, ausgestattet mit den notigen chemischen Kenntnissen und dem chemischen Handwerk-

[1]) Ich erinnere hier bloß an die teils festlegende, teils losende Wirkung der Calciumverbindungen.

[2]) Soweit diese Substanzen nicht einen fur die Pflanzen notwendigen Nahrstoff zufuhren sollen, bezeichnet man sie der lösenden Wirkung wegen, die sie auf die im Boden vorhandenen Pflanzennahrstoffe ausüben, als *indirekte Dungemittel.*

zeug, sehr viel Zeit für die Untersuchungen zur Verfügung hat. Über die besten Arbeitsmethoden wird er u. a. in den Lehrbüchern von J. König[1]), F. Wahnschaffe[1]), C. Böhme[1]) sich unterrichten können. Immerhin lassen sich auch ohne besondere chemische Schulung über manche für das Verhalten der Kulturpflanzen wichtige Bodeneigenschaften durch einfache Mittel wertvolle Aufschlüsse erlangen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu machen, sollen die folgenden Ausführungen auch dem Nichtchemiker einige Hinweise geben.

Die Bodenreaktion Seit langer Zeit schreibt man dem „sauren" Boden einen ungünstigen Einfluß auf die Kulturpflanzen zu, und nicht selten liegt dieser Bezeichnung [2]) wirklich ein Gehalt des Bodens an freien Säuren zugrunde. So wissen wir, daß unsere Hochmoore sowie die meisten Sandheiden reich sind an freien Humussäuren (S. 108) [3]), und man hat auch gelernt, deren schädlichen Einfluß durch Aufbringen von Kalk oder Mergel zu bekämpfen [4]).

Auch die ungünstigen Eigenschaften der sogenannten Alkaliböden (S. 146 Anm. 4), wie sie in großem Umfang in den trockenen Landstrichen Ungarns, Rußlands, Asiens, Nordamerikas vorkommen, sind längst bekannt. Zum großen Teil sind die Erscheinungen der Bodensäure und Bodenalkalität erst durch die neuere Bodenforschung aufgeklärt und auch in dem vorausgegangenen Teil dieses Buches besprochen worden Man erinnere sich an die Spaltung, die mineralische Salze unter dem Einfluß von Humussäuren durch Massenwirkung erleiden, an das Auftreten von freier Schwefelsäure im Marschboden und im Untergrundssand von Niederungsmooren bei Zersetzung des Schwefeleisens durch Wasser und Luftsauerstoff, ferner an die Absorptionsvorgänge, bei denen Salze in freie Säuren und Basen zerlegt werden können [5]). Auch durch Dissoziation (S. 55, 155) können Säuren und Basen in Freiheit gesetzt werden und die saure oder alkalische Reaktion des Bodens hervorrufen oder verstärken.

Ein gewisse Grenzen überschreitender Säuregehalt des Bodens beein-

[1]) Alle im Verlag von P. Parey-Berlin erschienen.

[2]) Häufig will man damit nur den Zustand eines nassen, schlecht durchlüfteten Boden treffen.

[3]) Diese, insbesondere von A. Baumann und E. Gully - München bestrittene Tatsache ist durch die Arbeiten der Moor-Versuchsstation (Tacke, Süchting, Densch, Arnd), ferner von A. Rindell, P. Ehrenberg, S. v. Oden u. a. wohl als durchaus sichergestellt anzusehen.

[4]) Ob die freien Humussäuren unmittelbar oder nur dadurch schädlich wirken, daß sie aus anderen Salzen mineralische Säuren freimachen, ist noch fraglich.

[5]) S. die Ausführungen über „physiologisch saure und alkalische Salze" S. 55.

trächtigt sowohl unmittelbar die Kulturpflanzen[1]) als auch die Entwicklung der nützlichen Bodenbakterien und die Salpeterbildung. Andererseits rufen auch alkalisch reagierende Stoffe gewisse Pflanzenkrankheiten (u. a. die Dörrfleckenkrankheit bei Hafer und Roggen) hervor. Es erscheint daher zweckmäßig, beim Hervortreten unnormaler Erscheinungen den Boden auf seine Reaktion zu prüfen. Ein einfaches Mittel bieten gewisse Farbstoffe, die bei Gegenwart von sauren oder basischen Verbindungen ihre Farbe verändern. Da die an organischen Stoffen reichen Boden Kohlensäure entwickeln, so muß diese dem Pflanzenwuchs nicht schädliche, aber gleichfalls sauer reagierende Säure vor der Prüfung auf andere Säuren durch Erwärmung entfernt werden. Während man früher den bei Säurezusatz sich rötenden, bei Berührung mit alkalischen Stoffen blau werdenden Lackmusfarbstoff benutzte, hat Dr. Hasenbäumer-Münster ein Prüfungsverfahren ausgearbeitet, daß sich auf die Verwendung eines Anilinfarbstoffs, des Methylrots, stützt. Dieses wird bei stärkerem Säuregehalt lila, bei abnehmendem zinnoberrot — orange — gelb mit einem Stich ins Orange, schließlich bei neutraler oder alkalischer Reaktion rein gelb gefärbt.[2])

Ebenso wichtig wie einfach ist die *Prüfung des Bodens auf das Vorhandensein von Karbonaten*, das eine saure, nicht aber eine alkalische Reaktion ausschließt. Sie kann durch Übergießen einer Probe des Bodens mit verdünnter Salzsäure erfolgen, wobei unter Aufbrausen das aus dem Karbonat sich entwickelnde Kohlendioxyd entweicht. Die größere oder geringere Stärke des Aufbrausens läßt auf einen größeren oder geringeren Gehalt an kohlensauren Salzen schließen. Ein Aufbrausen durch die ganze mit Säure benetzte Masse hindurch deutet auf eine gleichmäßige Verteilung des Karbonats. Ist dieses nur in gröberen Teilchen dem Boden beigemengt, so findet das Aufbrausen auch nur stellenweise statt. Calciumkarbonat kann so mit Salzsäure schon in der Kälte, ja auch mit starkem Essig (verdünnter Essigsäure) nachgewiesen werden. Die Zersetzung von Magnesiumkarbonat und Dolomit erfolgt meist erst beim Erwärmen des mit Säure übergossenen Bodens. Hochmoorboden und meist auch Übergangsmoore sind frei von Karbonaten. Niederungsmoore enthalten solche nur, wenn sie mit Wiesenkalk oder Ferrokarbonat durch-

[1]) Nach Untersuchungen von J. Onodera-Japan schädigt ein Gehalt von 0,108 % Milchsäure, von 0,072 % Essigsäure, 0,046 % Ameisensäure in der das Keimbett (Sand) durchtränkenden Flüssigkeit die Keimfähigkeit der Samen von Rotklee, Gerste, Reis. Bei Salzsäure und Schwefelsäure trat die Schädigung bereits bei einem Gehalt von 0,036—0,049 % ein. S. darüber Stutzer, Mitt. d. D. Landw.-Ges. 1921, Nr. 5, S. 80.

[2]) Über die Ausführung des Verfahrens s. Mitt. d. D. Landw.-Ges. 1921, Stück 5, S. 80.

setzt sind Ihr Kalkgehalt ist zum größeren Teil an Humussäuren gebunden, kommt aber auf gut durchlüfteten Böden bei seiner allmählichen Umwandlung in Karbonat den Pflanzen zugute Schnell erfolgt die Umwandlung beim Brennen einer Moorprobe, und so kann in der Torfasche ein Kalkgehalt gleichfalls durch Übergießen mit Säure nachgewiesen werden

Die quantitative *chemische Untersuchung eines Moorbodens*, deren große Bedeutung auf S. 189 besprochen wurde, kann natürlich nur von einer mit der chemischen Mooruntersuchung durchaus vertrauten Persönlichkeit ausgeführt werden Jedoch wird auch der mit der Chemie auf gespanntem Fuß Stehende, aber mit einigen botanischen Kenntnissen Ausgestattete bald lernen, irgendein Moor der Gruppe der kalk- und stickstoffarmen Hochmoore oder der kalk- und stickstoffreichen Niederungsmoore zuzuweisen (S. unter Kapitel V: Die Prüfung des Moorbodens, worin auch auf das für den Laien leicht erkennbare *Vorhandensein größerer Mengen von Phosphaten* aufmerksam gemacht wird

Leicht auszuführen ist auch die *Prüfung auf das Vorkommen von Schwefeleisen* (S. 49) im Moorboden oder in dessen mineralischem Untergrund (Sand- oder Marschboden) Ohne chemische Hilfsmittel, durch einen einfachen Vegetationsversuch in folgender Weise Der verdächtige Boden wird in kleine Blumentopfe gefüllt, diese mit einigen keimfähigen Haferkornern besat und an einen luftigen hellen Ort gestellt Die sich entwickelnden jungen Pflanzchen sind reichlich mit Feuchtigkeit zu versehen Ist Schwefeleisen vorhanden, so geht dieses allmählich in Schwefelsaure und Ferrosulfat uber Die Pflanzen fangen an zu krankeln und sterben ab Zweckmaßig läßt man einen Versuch mit zweifellos giftfreiem Boden nebenherlaufen Um zugleich die Wirkung des Gegenmittels zu prüfen, kann man zum Vergleich eine Probe des Bodens mit einer mäßigen Menge von gebranntem Kalk oder feinpulverigem Kalkmergel gründlich vermischen Eine chemische Prüfung von Sand- oder Marschboden kann in der Weise vorgenommen werden, daß man eine Bodenprobe, die langere Zeit feuchter Luft ausgesetzt war, mit einer Messerspitze fein zerriebenen roten Blutlaugensalzes (Ferricyankalium, aus Drogenhandlungen zu beziehen) mischt und dann das Gemenge mit wenig Wasser durchfeuchtet. Die Anwesenheit von Ferrosulfat macht sich dann durch Blaufärbung der ganzen Masse oder durch das Auftreten blauer Punkte bemerklich. (Weiteres uber die sehr empfindliche Reaktion s o S 21).

§ 111.

Das Bodenwasser. Das in den Boden eindringende und dessen Hohlraume erfüllende Wasser bringt aus der atmosphärischen Luft die aus dieser aufgenommenen Gase und festen Stoffe mit. Da das Losungs-

vermögen des Wassers für Kohlendioxyd weit größer ist als für Sauerstoff und für Sauerstoff großer als für Stickstoff, so ist das Verhältnis dieser drei Luftarten im Bodenwasser ein ganz anderes als in der Atmosphäre[1]). Infolge des Sauerstoffverbrauchs innerhalb des Bodens und der Kohlendioxydbildung bei der Oxydation der organischen Bodenbestandteile verschiebt es sich immer mehr zuungunsten des Sauerstoff- und zugunsten des Kohlendioxydgehalts. Außer diesen gasförmigen Bestandteilen enthält das in den Boden eindringende Wasser stets etwas Ammoniak, das aus den Fäulnisvorgängen, die sich an der Erdoberfläche vollziehen, in die Atmosphäre gelangt, sowie salpetersaures und salpetrigsaures Ammonium. Die Menge dieser Stoffe ist sehr gering und sehr wechselnd[2]). In Berührung mit den festen Bodenbestandteilen nimmt das Bodenwasser eine Reihe von Stoffen auf, deren Art und Menge im wesentlichen abhängig ist von der Beschaffenheit der ersteren, dem Gehalt des letzteren an Kohlendioxyd und von dem Mengenverhältnis, worin Wasser und Boden zueinander stehen. Über die Zusammensetzung des Bodenwassers sind wir deswegen im unklaren, weil es nur durch Zufuhr großer Wassermengen aus dem Boden sich herausdrängen läßt, hierbei aber infolge der Veränderung des Verhältnisses zwischen Wasser und festen und gelösten Bodenbestandteilen in seiner Zusammensetzung Veränderungen erleiden muß[3]). Die Beschaffenheit des aus dem Boden fließenden Wassers, des „Sicker-“ oder „Dränwassers“, das nur bei einem Wasserüberschuß im Boden austritt, läßt daher nicht ohne weiteres auf den Gehalt der Bodenflüssigkeit unter normalen Verhältnissen, sondern höchstens darauf schließen, ob sie an diesem oder jenem Stoff hervorragend reich oder arm ist.

§ 112.

Das *Sicker-* oder *Dränwasser. Grundwasser.* So wenig Aufschluß das aus den Boden absickernde Wasser über die Beschaffenheit des flüssigen Bodenbestandteils gibt (s. o.), so ist die Zusammensetzung der Dränwasser

[1]) Auf 100 Raumteile Sauerstoff kommen

in der Atmosphäre	378 Rtl	Stickstoff	und ca.	0,15 Rtl.	Kohlendioxyd
in einem mit diesen Gasarten gesättigten Wasser	50 ,,	,,	,, ,,	3333 ,,	,,

[2]) Nach vielfachen Untersuchungen dürfte die jährlich auf 1 ha Bodenfläche in Form der genannten Stickstoffverbindungen gelangende Stickstoffmenge höchstens etwa 12 kg betragen.

[3]) Mehr Sicherheit für richtige Schlußfolgerungen dürfte die Untersuchung des durch starken Druck auf den Boden erhaltenen „Preßsaftes“ bieten, wie ihn z. B. Ramann benutzte. Versuche, durch Verdrängung des Bodenwassers mittels Paraffinöls die unveränderte Bodenflüssigkeit zu gewinnen (Dr. Wesselingk van Sochteln, Journ. f. Landw., Bd. 60, 1912, S. 369) scheinen keine Fortsetzung gefunden zu haben.

doch insofern von Wichtigkeit, als sie die Mengen von Nährstoffen beurteilen läßt, die durch das Wasser dem Boden entzogen werden, und als das Dränwasser unter Umständen dazu benutzt werden kann, um anderen Böden befruchtende Stoffe zuzuführen. Seine Beschaffenheit richtet sich unter sonst gleichen Verhältnissen nach der Art und Behandlung (Bodenbearbeitung, *Düngung*) des Bodens, dem es entstammt, und nach der Wassermenge, die darauf einwirkte. Dränwasser von Böden, die aus *sauren* Gesteinen (S. 60) entstammen, pflegen an *Kalium*- und *Natrium*verbindungen reich zu sein, während die aus *basischen* Gesteinen gebildeten Böden an *Calcium*- und *Magnesium*salzen reiche Wässer liefern. Die ersteren nennt man (wegen ihres Verhaltens beim Waschen) „weiche", die letzteren „harte" Wässer[1]). Starke Düngung des Bodens mit Kalisalzen erhöht den Gehalt der Dränwasser an Calciumverbindungen sehr beträchtlich (Wechselzersetzung). (Bei Versuchen der *Moor-Versuchsstation*[2]) vermehrte sich der Kalkgehalt des Sickerwassers bei Hochmoorboden um 64 kg, bei Niederungsmoor um 209 kg für je 100 kg des in der Düngung zugeführten Kalis.) Bei starkem Humusgehalt des Bodens ist das Sickerwasser braun gefärbt, falls die Humusstoffe sauer reagieren oder weiches Wasser auf sie einwirkte, gelblich oder farblos, wenn die Humusstoffe in Form von humussauren Salzen (Calciumhumat, Magnesiumhumat) vorhanden sind oder unter dem Einfluß von hartem Wasser stehen.

Ferner müssen die Stoffe, für die der Boden ein geringeres Absorptionsvermögen besitzt, im Sickerwasser reichlicher vertreten sein. Im allgemeinen wird dieses reicher an *Natrium*-, *Calcium*-, *Magnesium*verbindungen sein als an *Kalium*verbindungen. *Schwefelsäure* und *Chlor* werden in größeren Mengen dem Boden entzogen, die *Phosphorsäure* dagegen, die mit Calcium und Eisen schwerlösliche Salze bildet, bleibt im Boden zurück, und die Dränwasser sind fast stets sehr arm daran. Aus Böden, in denen die Bedingungen für Bildung von *Salpetersäure* günstig liegen, oder denen diese im Dünger zugeführt wird, laugen die Dränwasser große Mengen dieses wertvollen Stoffes aus, während das leicht absorbierbare Ammoniak (S. 190) nur in geringem Grade in das Dränwasser gelangt.

Höhere Bodentemperatur steigert den Gehalt der Sickerwässer an gewissen Stoffen, so an Nitraten infolge der verstärkten Salpetersäurebildung, an anderen Salzen, weil durch die vermehrte Kohlensäurebildung ein größerer Teil der Bodenbestandteile in Lösung gebracht wird.

[1]) Durch den Kalkgehalt des Wassers wird die aus fettsaurem Kalium oder Natrium bestehende, in heißem Wasser unter Aufschäumen leicht lösliche Seife in fettsaures Calcium („Kalkseife") umgewandelt, die mit Wasser nicht schäumt, fast unlöslich und zum Waschen wenig tauglich ist.

[2]) B. Tacke, IV. Bericht über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation.

In den allermeisten Fällen ist der Gehalt des Dränwassers an festen Stoffen sehr gering, er überschreitet nur selten ein Tausendstel der Wassermenge. Dennoch kann unter Umständen die durch das Dränwasser fortgeführte Menge an wichtigen Bodenbestandteilen sehr groß sein

Nach Untersuchungen von v. Seelhorst, Kreydt und Wilms verlor ein auf 1,25 m Tiefe dränierter Lehmboden in guter Kultur durch das abfließende Wasser auf ein Hektar und Jahr:

Stickstoff in Form von Salpetersäure, salpetriger Säure und Ammoniak	Kali	Kalk	Magnesia	Schwefelsäure	Phosphorsäure (geschätzt zu etwa)
4,4 kg	8,4 kg	630 kg	140 kg	182 kg	2 kg.

An freiem Sauerstoff pflegen aus früher besprochenen Ursachen die Dränwasser ärmer, an Kohlendioxyd reicher zu sein als die mit der atmosphärischen Luft in Berührung befindlichen Wasser. Auch können sie unter Umständen pflanzenschädliches Schwefelwasserstoffgas enthalten Falls die Sickerwässer zur Befeuchtung anderer Böden benutzt werden sollen, empfiehlt es sich daher, sie vorher längere Zeit mit dem atmosphärischen Sauerstoff in Berührung zu bringen, wobei ein großer Teil des Kohlendioxyds entweicht, der Schwefelwasserstoff zerstört [1]) und freier Sauerstoff aufgenommen wird (vgl auch § 92).

Auf einem mit Pflanzen bestandenen Boden sind infolge der gesteigerten Verdunstung die Sickerwassermengen kleiner als auf dem nackten Boden, und es wird durch das abfließende Wasser dem bewachsenen Boden an Stoffen weniger entzogen als dem nackten, obwohl die aus dem ersteren austretenden Lösungen unter Umständen konzentrierter sein können als die Sickerwässer des nicht bewachsenen Bodens [2])

Die folgende Tabelle gibt die Zusammensetzung einiger Dränwässer aus verschiedenen Bodenarten wieder

---

[1]) Der Schwefelwasserstoff scheidet hierbei häufig freien Schwefel aus. ($H_2S + O = H_2O + S$)

[2]) Sehr deutlich wird dies durch Untersuchungen von Dr J. Hanamann (Biedermanns Zentralbl. f. Agrikulturchemie, 31 Jahrg., 1902, S 201) zur Anschauung gebracht. Aus 50 kg eines als calciumkarbonathaltiger Alluviallehm zu bezeichnenden Bodens traten an Sickerwasser und in diesem gelösten festen Stoffen (in Gramm) aus·

Boden	Sickerwasser	Gelöste Stoffe:							
		Kohlensäure	Salpetersäure	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Schwefelsäure	Chlor
Unbewachsen	7080	0,42	0,21	0,17	0,19	0,57	0,11	0,39	0,09
Bewachsen mit Klee	2650	0,24	0,09	0,05	0,05	0,38	0,05	0,20	0,05
Bewachsen mit Sommerweizen	2041	0,22	0,01	0,04	0,04	0,28	0,05	0,17	0,07

Dabei waren enthalten in 100 000 Teilen des Sickerwassers.

	in dem unbewachsenen	dem mit Klee	dem mit Weizen bewachs. Boden
an festen Stoffen	46,4	53,0	50,7 Teile.

Zusammensetzung einiger Dränwässer
(nach Wolff, Krocker, Moor-Versuchsstation).

In 100 000 Teilen Wasser waren enthalten.

Bodenart	Organische Stoffe	Kohlensäure	Salpetersäure	Mineralstoffe	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Phosphorsäure	Schwefelsäure	Chlor	Kieselsäure
Lehmiger Sand .	2,6	12,4	Spur	32,1	0,2	2,4	12,3	1,5	Spur	0,6	1,4	0,7
Tonboden auf Kalkunterlage	2,5	7,2	0,1	39,1	0,2	1,4	13,4	3,5	0	12,2	0,5	0,7
Niederungs - Moorboden (stark mit Kainit gedüngt) .	22,9	6,5	17,0	130,1	6,3	15,8	43,8	2,9	0,1	33,8	24,2	2,2
Hochmoorboden. .	11,4	0,2	0,3	12,4	1,2	2,3	2,9	0,4	0,02	2,5	1,3	2,1

Daß die *Menge* des von einer bestimmten Fläche ablaufenden Sickerwassers nicht nur von deren Umfang sowie von der Größe der Niederschläge und der seitlich zuströmenden Wassermengen, sondern auch von der natürlichen Beschaffenheit des Bodens und der Art seiner Behandlung abhängt, geht unmittelbar aus den früheren Darlegungen über Boden und Wasser hervor. Soweit das auf die Fläche gelangende Wasser nicht (bei geneigter Lage) abfließt, dient es zu einem beträchtlichen Teil dem Wasserbedarf der Pflanzen, ein anderer Teil wird durch die Wasserkapazität des Bodens festgelegt, ein dritter Teil fällt der Verdunstung von der Bodenoberfläche anheim. Der Rest ist das *Sickerwasser*. Je kräftiger die Pflanzenentwicklung auf irgendeinem Boden, je größer dessen Wasserkapazität, je mächtiger die wasserhaltende Bodenschicht ist, um so weniger Wasser sickert ab. Auf einem flachgründigen, pflanzenlosen, mit geringer Wasserhaltungskraft ausgestattetem Boden werden die Sickerwassermengen steigen, und alle Umstände, die die Verdunstung verringern (Lockern der oberen Bodenschicht, Bedecken des Bodens mit Stoffen von schwacher Haarröhrchenkraft u. a.) werden in gleicher Richtung wirken.

Zum *Grundwasser* wird das Sickerwasser, wenn es sich auf undurchlässigen Boden- oder Gesteinsschichten ansammelt. Sind diese geneigt, so gerät das Grundwasser in Fluß („Grundwasserstrom"). In waldigem oder gebirgigem Gelände tritt es stellenweise als Quellen zutage, bildet Teiche und Seen, welche die Flüsse speisen oder auch von Flußwasser gespeist werden können. Das Grundwasser muß ferner eintreten, um die gewaltigen Wassermengen zu ersetzen, die der Pflanzenwuchs dem Boden entzieht[1]), und eine der wichtigsten Aufgaben des Kulturtechnikers ist es daher, durch geeignete Maßnahmen eine zu starke Senkung des Grundwasserspiegels zu verhüten.

[1]) Vergl. die Untersuchung von E. Krüger. S. 165.

Fünftes Kapitel.

Kennzeichnung der Hauptbodenarten.[1])

§ 113.

Vorbemerkung. Die Böden des norddeutschen Flachlandes entstammen hauptsächlich den jüngsten Gesteinsformationen, die sich während der „Neuzeit“ der Erde (§ 3) gebildet haben, also während der Tertiärperiode, in der die Erdoberfläche nach zahlreichen Verschiebungen der Grenzen zwischen Festland und Meer (Credner) im wesentlichen ihre jetzige Gestaltung annahm, und der das Diluvium und das Alluvium umfassenden Quartärperiode. Nur an weniger engbegrenzten Örtlichkeiten treten, inselartig hervorragend aus den diluvialen Gesteinstrümmern, mit denen während der Eiszeit die Erdoberfläche stellenweise mehr als 200 m hoch überschüttet wurde, bodenbildende Glieder der älteren Gesteinsformationen: Buntsandstein, Muschelkalk, Kreide u. a., zutage.

Die aus dem Tertiär hervorgegangenen Böden sind meist von sehr einförmiger Beschaffenheit. Ihre Hauptbestandteile sind Quarzsand und Grand, ersterer oft mit großen Mengen von Glimmerplättchen durchsetzt, und weiterhin Ton. Calciumverbindungen treten sehr zurück. Die aus dem Tertiär stammenden Sandböden sind meist arm an Pflanzennährstoffen, die Tonböden des Tertiärs pflegen sich durch hohe Plastizität auszuzeichnen, sind aber im landwirtschaftlichen Sinne steif, zäh und schwer zu bearbeiten.

Im Gegensatz zu den Tertiärböden weisen die Alluvial- und Diluvialböden des Quartärs eine sehr große Mannigfaltigkeit auf. Zu ihnen gehören die ödesten, unfruchtbarsten Dünen- und Wüstensande, aber auch Böden von sprichwörtlicher Fruchtbarkeit, die an allen Nährstoffen reichen See- und Flußmarsch- (Aue-) Böden, die hochgeschätzten Löß- und Schwarzerdeböden, die stickstoff- und kalkreichen Niederungsmoore wie die kalkarmen Hochmoore. Die Mannigfaltigkeit der Diluvial- und Alluvialböden ist in letzter Linie auf die Vorgänge der letzten Eiszeit zurückzuführen.

[1]) Nach der eingehenden Behandlung der „bodenbildenden Gesteine“ (§§ 35 bis 38) und der „Vorgänge bei der Bodenbildung“ (§§ 39—69) glaube ich mich hier kurz fassen und bezüglich zahlreicher Einzelheiten auf die genannten Kapitel verweisen zu können.

Sie überdeckten das einförmige Tertiär mit einem Gemisch von Gesteinen aller Art. Unter der Einwirkung des schmelzenden Eises, der Fortführung und mechanischen und chemischen Zerarbeitung der Gesteinstrümmer durch die Schmelzwässer mußten dann Böden von verschiedenster Zusammensetzung, von verschiedensten physikalischen Eigenschaften und verschiedenstem Verhalten gegen den Pflanzenwuchs entstehen.

§ 114.

Die Steinböden *sind Böden mit einem so hohen Gehalt an nicht oder nur wenig zersetzten gröberen Gesteinstrümmern, daß sie die wichtigsten Bodeneigenschaften wesentlich beeinflussen.* Sie finden sich nicht nur in den deutschen Mittelgebirgen, sondern auch im Tiefland, hier hervorgegangen aus dem Gestein, das die vom hohen Norden vordringenden Gletscher während der Eiszeit über die Oberfläche ausgebreitet hatten. Bilden die Gesteinstrümmer nahezu die einzigen Bestandteile, so bezeichnet man diese Böden als eigentliche *Schuttböden* („Schotter-“, „Breccien-“, „Tuffboden“), falls sie noch auf dem Muttergestein aufliegen, als *Geröllböden*, wenn sie durch Wasser oder durch schiebendes Eis von ihrer ursprünglichen Stätte fortgeführt, und ihre Bruchstücke dabei abgerundet worden sind. Derartige Böden sind, gleichgültig, welchem Gestein sie entstammen, höchstens zur Holzzucht geeignet. Man kann sie noch „unfertige“ Böden nennen.

Ist bereits ein Teil der Gesteinsbrocken zu Feinerde (§ 80) zerfallen oder haben sich neben dem Geröll zugleich feinerdige Verschwemmungsmassen abgesetzt, so können diese Böden einen hohen Grad von Fruchtbarkeit besitzen. Ihre Eigenschaften richten sich dann im wesentlichen nach der Beschaffenheit des Muttergesteins. In unseren Gebirgen pflegen sie herrliche Waldungen zu tragen, deren Art, ob Laub-, ob Nadelwald, sehr häufig mit großer Sicherheit darauf schließen läßt, ob sie auf nährstoffreichem, leicht zu Boden zerfallendem („basischen“ — S. 60) Gestein wie Basalt, Melaphyr u. a. oder auf den an Nährstoffen ärmeren, sich schwer zersetzenden Felsarten, Granit, Porphyr usw., stocken. Je nach der Art des Muttergesteins wandeln sich die Steinböden allmählich unter dem Einfluß der Verwitterung in Sand-, Ton-, Lehm-, Kalkböden um, und die, selbst wenn sie noch zahlreiche grobe Gesteinsbruchstücke enthalten, als Grasflächen, in sonniger Lage als Weinbergsboden einen hohen Wert haben. Wie bereits S. 119 u. 126 dargelegt wurde, können bei feuchter Lage die Steinböden je nachdem in graswüchsige oder in heidewüchsige Moore übergehen.

Im übrigen sind aber die Steinböden den flachgründigen, trockenen und daher warmen Böden zuzurechnen.

§ 115.

Die Sandböden (vgl. auch § 37, 2). Als Sandböden bezeichnet man solche *Böden, in denen mit dem bloßen Auge erkennbare, im Wasser schnell zu Boden sinkende sandige Gemengteile überwiegen und den Charakter des Bodens bestimmen.* Je nach dem Vorwalten groberer oder feinerer Korngrößen unterscheidet man zwischen Kies-, Grand-, Perlsand- und feinem Sandboden. Das Verhalten der Sandböden zum Wasser ist in hohem Grade abhängig von ihrer Korngröße (S besonderes hierüber § 38, 1). Die gewöhnlichen Sandböden besitzen, falls sie nicht als Beimengung tonige oder Humusstoffe enthalten, nur geringe Wasserkapazität, um so geringere, je grobkörniger sie sind. Mit dem gröberen Korn nimmt auch ihre Durchlässigkeit für Wasser und für Luft zu Sie gehören entschieden zu den trockenen Böden, ihre spezifische Wärme ist klein, sie erwärmen sich schnell, kühlen sich aber auch rasch ab und zeigen daher erheblichere Wärmeschwankungen als die meisten anderen Bodenarten. Bei ihrem geringen Wassergehalt, ihrer guten Durchlüftung und starken Erwärmung zersetzen sich die in ihnen vorhandenen Pflanzenreste sehr rasch (daher die Bezeichnung „tätige" oder auch „warme" Boden).

Je nach ihrer Herkunft von dieser oder jener Gesteinsformation[1]) und je nachdem das Muttergestein bei seinem Zerfall zu Boden mehr oder weniger seiner für die Pflanzenernährung wichtigen Bestandteile verlustig ging, wechselt der Gehalt der Sandböden an Pflanzennährstoffen sehr stark. Sie können fast ausschließlich aus reinen Quarzsandkörnern (Kieselerde) bestehen — die Dünensande enthalten bis zu 95 % Quarzsand, auch die Tertiärsande (s. die Vorbemerkung) sind fast reine Quarzsande — oder sie können neben diesem bisweilen recht große Mengen von Glimmer, Feldspat, Augit, Hornblende und deren näheren Bestandteilen: Kalium-, Natrium-, Calcium-, Magnesium-, Eisen- und Aluminium verbindungen enthalten. Selbst den aus Quarzsandstein (verkitteten Quarzsandkörnern) entstandenen Sanden sind die Zerstörungsprodukte der Bindemittel beigemengt, die ihre physikalischen Eigenschaften und ihre Nährkraft günstiger gestalten. Deutliche Beimengungen von tonigen und Humusstoffen werden durch die Bezeichnungen: „lehmiger", „humoser" (auch „anmooriger") Sand, größere Beimengungen von Ferrioxyd oder Ferrihydroxyd durch die Bezeichnung „eisenschüssig" oder „eisenstreifig" gekennzeichnet[2]).

---

[1]) Beispielsweise zeichnen sich die Keuper-Sandböden von den Böden der Buntsandsteinformation meist durch einen höheren Gehalt an Kalk und Ton aus (S. ferner das verschiedene Verhalten der Alluvial- und der Diluvialsande S. 63.) Es empfiehlt sich daher, bei der Kennzeichnung eines Sandbodens seine Zugehörigkeit zu dieser oder jener Gesteinsformation zum Ausdruck zu bringen. Ein gleiches gilt auch für die Ton-, Lehm- und Kalkböden.

[2]) Die rötliche Farbe eisenschüssiger Sandböden erregt meist mit Unrecht des Landwirts Bedenken. Nur das Ferrisulfat ist schädlich, Ferrioxyd und

Nach dem Vorstehenden sind die Sandböden (besonders die mit gröberem Korn) durchaus nicht immer den „mageren" armen Bodenarten zuzuzählen, auf die der auf reichem Boden wirtschaftende Landmann mit etwas verächtlichem Mitleid schauen zu dürfen glaubt — die sehr feinkörnigen Mergelsande (S. 63) sind sogar nicht selten gute „Weizenböden" —, jedoch werden bei ihrem schwachen Absorptionsvermögen und ihrer guten Durchluftung die infolge der fortschreitenden Verwitterung löslich werdenden und die in der Düngung zugeführten Nährstoffe leicht ausgewaschen. Der Dünger wirkt schnell, aber nicht nachhaltig. Man nennt sie daher nicht mit Unrecht „verschwenderische" Böden.

Großen Umfang nehmen insbesondere in der norddeutschen Tiefebene und vornehmlich in deren westlichen Landstrichen die in der Diluvialzeit entstandenen *Heidesandböden* ein. Ihre Bodenmasse besteht in den oberen Schichten allermeist aus einem ziemlich feinkörnigen Sand von sehr gleichmäßiger Beschaffenheit. Entsprechend ihrem geringen Gehalt an Pflanzennährstoffen, namentlich an Kalk und Phosphorsäure, setzt sich ihr natürlicher Pflanzenwuchs hauptsächlich aus Heidekräutern, in trockener Lage die Gemeine oder Besenheide (Calluna vulgaris), in feuchter die Dop- oder Glockenheide (Erica tetralia) zusammen. Nach dem Absterben liefern diese Pflanzen einen an freier Säure reichen Humus, der (s. u. bei „Humusboden") in feuchten Örtlichkeiten allmählich in ein Hochmoor übergehen kann. In trockner Lage verstärkt sich nur die Heideerdeschicht und kann dann auf die tieferen Bodenschichten auffällige Wirkungen ausüben. Die vom Regenwasser ausgelaugten Humusbestandteile bilden eine „kolloidale Lösung" (S. 153), die beim Einsickern auch lösend auf die noch unzersetzten Mineralien des Heidesandes (Feldspat-, Glimmer-, Augit- usw.[1]) Teilchen) einwirkt und deren Zerfallsprodukte: Ton[2]), Kali-, Kalk-, Magnesia-, Eisensalze, in die Tiefe führt.

Hier können sich diese Stoffe derart ansammeln, daß sie die Kolloide zum Ausflocken bringen, das Kolloid-Sol in Kolloid-Gel umwandeln, welches dann die Sandkörner zu einem steinartigen Gebilde, dem Humussandstein oder *Ortstein*, verkittet. (Bei weicherer Beschaffenheit wird es auch „Ortsand" genannt.) Die Schichtenfolge in unseren Heidesandböden

Hydroxyd nicht. Ferroverbindungen lassen dagegen auf mangelhafte Durchluftung des Bodens schließen. Daß das Ferrosulfat, hervorgegangen aus zweifach schwefeliger FeS_2, ein Pflanzengift ist, wurde bereits in § 51 besprochen.

[1]) Die zerstörende Wirkung von Humuslösungen selbst auf sehr hartes Gestein beobachtet man häufig an Granit-, Porphyr-, Basaltbruchstücken im Untergrund von Mooren.

[2]) Man denke dabei an die „Schutzkolloide", die andere Kolloide in Lösung erhalten (s. S. 154).

ist somit gewöhnlich diese. Auf eine mehr oder weniger starke, 20 cm meist nicht übersteigende Heideerdeschicht folgt eine durch zahlreiche Humusteilchen dunkel gefarbte, beim Nachlassen des Humusgehalts hellgrau werdende Sandschicht Bei dieser Färbung nennt man sie „*Bleisand*" oder auch „*Bleichsand*" Die erstere Bezeichnung hat die bleiähnliche Farbe, die letztere die Befreiung von farbenden Eisenverbindungen im Auge. Unter dem Bleisand folgt dann oft auf großen Flachen eine Ortsteinschicht von so großer Harte, daß sie behufs Verwertung des Landes zu Acker- oder Waldbau mit tiefgreifenden Geräten durchbrochen werden muß. An der Luft zerfallen die Ortsteinstucke, falls sie frei von Eisenverbindungen sind, bald zu weißem Sand.

Soweit nicht Ortstein- oder Raseneisensteinschichten ihre land- und forstwirtschaftliche Nutzung erschweren, sind die Sandboden den „leichten" Bodenarten zuzurechnen Zufuhr von kolloidreichen und kolloidbildenden Stoffen, z. B von Moorerde, Stalldung, Ton- und Lehmmergel, Seeschlick, Teichschlamm, Bewasserung mit schlickreichem Wasser u a, ist das beste Mittel, um die der Kultivierung der Sandboden ungunstigen Eigenschaften abzuschwächen Ton- und humushaltige Sandboden in feuchter Lage sind vom landwirtschaftlichen Standpunkt aus als dankbare Boden anzusehen. Aber nie durfen Landwirt, Kulturtechniker und die fur die Wasserwirtschaft maßgeblichen Behörden vergessen, daß auf keiner Bodenart die sorgsame Erhaltung und — in vielen Fällen — Verstärkung des Bodenwassergehalts fur die Erfolge kultureller Tätigkeit so ausschlaggebend sind wie fur die Sandböden.

Im entschiedensten Gegensatz zu den Sandboden stehen:

§ 116.

Die Tonböden. (Vgl. auch § 38, 3) Das sind *Bodenarten, die zu mindestens* 50 % *aus abschlämmbaren festen Teilen bestehen,* deren Menge aber auch auf 75 % steigen kann Steinige und grobsandige Beimengungen fehlen in den eigentlichen Tonboden (Unterschied von den bisweilen steinreichen „Lehmboden"). Die Eigenschaften der Tonboden konnen je nach ihrer Struktur und nach dem Vorhandensein oder Fehlen von Beimengungen, die auf die Eigentumlichkeiten der Tongesteine mildernd einwirken, sehr verschieden sein. Je freier der Ton von derartigen Beimengungen ist, um so mehr tritt seine Plastizität und die *Einzelkonstruktur* mit ihren fur den Pflanzenwuchs ungunstigen Folgen hervor (§ 81). Die Bezeichnungen „bindig", „zäh", „steif", „streng", „verschlossen" sind kennzeichnend für den reinen Tonboden[1]) Er besitzt eine sehr hohe

[1]) Zu den reinsten Tonboden sind die der Tertiarformation angehörigen zu rechnen.

Wasserkapazität, geringe *Durchlässigkeit* für Wasser und ist daher, besonders wenn auch seine Unterlage von schwer durchlässigen Schichten gebildet wird, den *nassesten* Bodenarten zuzurechnen. Auf der anderen Seite ist seine *Kapillarität* und daher auch sein *Verdunstungs*vermögen sehr groß Beim Austrocknen vermindert er sein *Volum*, er wird hart und rissig, und die verkleinerten Bodenkapillaren setzen dem Eindringen des Wassers große Schwierigkeiten entgegen. Bei der sehr geringen Anzahl nicht kapillar wirkender Hohlräume ist die *Durchlüftung* des Tonbodens von Natur eine sehr mangelhafte, und da auch wegen des meist vorhandenen Wasserreichtums seine *spezifische Wärme* sehr hoch, seine Erwärmbarkeit also gering ist, so erfolgt die Zersetzung der humusbildenden Pflanzenteile langsam und nimmt nicht selten einen für das Gedeihen der Kulturpflanzen ungünstigen Verlauf.

Alle diese für die Kultivierung des Tonbodens wenig günstigen Eigenschaften werden erheblich abgeschwächt, wenn er unter geeigneter Behandlung *Krümelstruktur* annimmt, oder wenn ihm von Natur Stoffe beigemengt sind, die die *Plastizität* des Tons vermindern (Sand, Kies, Steine) oder den Eintritt der Krümelstruktur befördern (Calciumverbindungen, humose Stoffe u a.).

An *Pflanzennahrstoffen* pflegen die Tonboden hervorragend reich zu sein. Ihr *Absorptions-* und ihr *Adsorptionsvermögen* (§§ 99 ff.) ist besonders groß; deswegen und wegen der oben angedeuteten Eigenschaften gehören sie zu den *wenig tätigen* oder *trägen* Böden Aus allen diesen Ursachen kann kaum eine andere Bodenart für zweckmäßige Kulturmaßregeln sich so dankbar erweisen als der Tonboden. Diese sollen vor allem die *Beseitigung des schädlichen* Wasserüberflusses, die Beförderung der *Durchluftung* durch Wasserentziehung, durch mechanische *Auflockerung* und Zufuhr lockernder Stoffe, durch Herbeiführung der *Krümelstruktur*, Herabminderung der *Absorption* durch Calciumverbindungen und andere geeignete Stoffe („indirekte Düngemittel", s. o.) ins Auge fassen, um so das ruhende Bodenkapital in Umlauf zu bringen.

Auf der anderen Seite aber setzt keine andere Bodenart der Kultivierung so große Schwierigkeiten entgegen als die reinen Tonböden, und die jeweiligen *Witterungsverhältnisse* sind so ausschlaggebend für das Gelingen der Kulturmaßnahmen (*Verschlammung*, Rissigwerden!), daß selbst bei vorsichtigster Behandlung die Tonboden den *unsichersten* Bodenarten zuzurechnen sind.

§ 117.

Teils den Ton-, teils den Lehmböden gehören die alluvialen Bildungen der *Seemarsch-* und der *Flußmarsch*böden an.

Mit dem Namen „*Seemarsch*“ [1]) bezeichnet man einen Landstreifen, der, ausgehend von der Scheldemundung, in wechselnder Breite an der Nordseeküste bis zur nördlichen Spitze der jutischen Halbinsel sich hinzieht. Ihre Bodenmasse besteht aus dem Absatz der in die Nordsee mündenden Flüsse. Wie in § 42 dargelegt wurde, führen die Flüsse von ihrem Quellgebiet an die von den Ufern losgerissenen Gesteinstrümmer, sie immer mehr zerkleinernd und schließlich, soweit sie nicht zu Boden gesunken sind, zu feinstem Schlamm zermahlend, solange schwebend mit sich, bis mit der Verbreiterung des Flußbettes und unter dem Widerstand des vorgelagerten Meerwassers die Flußgeschwindigkeit und damit die Tragkraft des Wassers nachläßt. Unter der ausflockenden Wirkung der Seesalze (§ 84) kommen dann selbst die Kolloidstoffe des Flußwassers zur Ablagerung und bilden, mit Stickstoff angereichert (durch die Körper zahlreicher, bei Vermischung von Süß- und Salzwasser absterbender Lebewesen) den Seeschlick (Seeklei), die Bodensubstanz der Marschböden [2]).

Wie die S. 73 aufgeführten Gehaltszahlen erkennen lassen, wird die Zusammensetzung des Seeschlicks an den verschiedenen Ablagerungsstellen hauptsächlich von dem stark wechselnden Gehalt an Quarzsand beherrscht. Der nach Abzug des Quarzsandes übrigbleibende Rest enthält beim Seeschlick von der

	Emsmündung	Wesermündung	Elbmündung
Calciumkarbonat. . . .	23,0 %	23,7 %	19,8 %
Kali	5,7 „	5,7 „	5,7 „
Magnesia	4,9 „	4,6 „	4,0 „
Eisenoxyd und Tonerde.	43,4 „	? „	43,0 „
Phosphorsäure	0,4 „	0,6 „	0,3 „
Stickstoff	0,6 „	0,9 „	? „

[1]) Die Bezeichnungen „Marsch“ und „Geest“ sind nur im nordwestlichen Deutschland gebräuchlich. In scharfem Gegensatz zu dem alluvialen tiefgelegenen an Pflanzennährstoffen reichen Marschland versteht man unter Geest die angrenzenden, höher belegenen, meist sandigen und mageren Landstriche diluvialer Herkunft.

[2]) Auch jetzt vollzieht sich noch unter unseren Augen am Nordseegestade die Bildung wertvollen Marschbodens aus dem von Ems, Jahde, Weser, Elbe zugeführten Schlick. Sobald dessen Ansammlung eine gewisse Höhe erreicht hat, wird sie zunächst durch flache Deichanlagen („Sommerdeiche“) gegen das Meer so weit geschützt, daß die eingedeichten („eingepolderten“) Flächen („Polder“, „Kooge“, „Groden“) als Weide oder auch zum Anbau von Sommergewächsen benutzt werden können. Das außerhalb der Deiche liegende „Vorland“ (auch „Außengroden“) dient nur zur Beweidung. Später werden die Sommerdeiche zu Winterdeichen von beträchtlicher Höhe und Stärke ausgebaut und damit das Land bewohnbar und zu allen Zwecken benutzbar gemacht. — Im Jahre 1911 berechnete man, daß durch ein solches Vorgehen in den letzten 50 Jahren die schleswig-holsteinische Westküste (in der Luftlinie rund 125 km lang) um 500 m see-

Trotz ihrer ganz verschiedenen Herkunft zeigen mithin, wenn man von der Sandbeimengung absieht, die verschiedenen Schlickabsätze eine große Übereinstimmung an wichtigen Bestandteilen.

Dennoch weisen die daraus hervorgehenden Marschböden sowohl hinsichtlich ihrer Zusammensetzung als in ihrem Verhalten gegen mechanische Bearbeitung und gegen Pflanzenwuchs große Unterschiede auf. Bei der Untersuchung zahlreicher dem Gebiet der Ems-, Jahde-, Weser-, Elb- und schleswig-holsteinischen Marschen entstammenden Bodenproben aus der Oberflachenschicht stellte die *Moor-Versuchsstation*, als Arbeitsstelle der *Marschkulturkommission* [1]), folgende Zahlen fest: Es bewegten sich die Gehalte (auf trocknen Boden berechnet) an

	Kalk (CaO) %	Kali (K_2O) %	Phosphorsäure %	Stickstoff %
zwischen	0,26 und 5,45	0,11 und 1,15	0,08 und 0,55	0,10 und 0,99

Besonders deutlich treten die Unterschiede zwischen den verschiedenen Marschböden in ihrem Gehalt an abschlämmbaren Teilchen (sog. „Ton") hervor, jenen Bestandteilen, denen die Böden ihre Zahigkeit und die Bezeichnung „schwer" verdanken Läßt man von den seitens der Moorversuchsstation auf „Ton" untersuchten [2]) 171 Einzelproben diejenigen

warts vorgeschoben und damit ein Landgewinn von 9000 ha hochwertigsten jungfräulichen Bodens erzielt worden sei.

[1]) Die Erkenntnis, daß der Landwirtschaftsbetrieb in unseren von der Natur so reich ausgestatteten Marschen nicht überall von den Errungenschaften der neueren landwirtschaftlichen Forschung und von den Fortschritten der landwirtschaftlichen Technik den wünschenswerten Gebrauch mache, und daß anderseits die tonreichen schweren Marschböden auch dem einsichtigen Marschwirt Schwierigkeiten bieten, die mit dem augenblicklichen Wissen schwer zu überwinden sind, führte auf Veranlassung des damaligen Ministers für Landwirtschaft, Domanen und Forsten, des Freiherrn von Hammerstein-Loxten, und unter Mitwirkung der preußischen, an den Marschen beteiligten Provinzen Hannover und Schleswig-Holstein und deren Landwirtschaftskammern sowie der Staaten Oldenburg, Bremen und Hamburg im Jahre 1900 zur Begrundung der *Marschkulturkommission*. Sie soll durch wissenschaftliche Bearbeitung der Bodenuntersuchungs-, Bearbeitungs- und Dungungsfragen und durch praktische Versuche in Feld, Grasland und Garten unter Zuhilfenahme einer besonderen Marschversuchswirtschaft den zahlreichen sich aufdrangenden Forschungsfragen gerecht werden und durch Anlage von Beispielsflachen und Beispielswirtschaften auf die Marschbevolkerung belehrend wirken.

Mit der Ausführung dieser Arbeiten wurde die preußische Moor-Versuchsstation in Bremen betraut und deren Leiter, Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Tacke, zum Geschaftsfuhrer der Kommission ernannt. Der von ihm verfaßte ausführliche *Bericht über die Tätigkeit der Marschkulturkommission* ist im Jahre 1920 bei P. Parey-Berlin erschienen.

[2]) Der „Tongehalt" wurde nach dem von Dr. E. Arntz an der Moor-Versuchsstation ausgearbeiteten Schlämmverfahren bestimmt (Landw. Vers.-Stat., Bd. 70, S. 269).

aus, deren Gehalt an Quarzsand mehr als 65 % betrug, so schwankte der „Ton"gehalt in den weiten Grenzen zwischen 11 und 49 %. Natürlich hängen auch diese Unterschiede eng mit dem größeren oder geringeren Gehalt an Quarzsand zusammen Aber auch die im abgelagerten Schlickboden stattfindenden Umwandlungen können die Zusammensetzung wesentlich ändern, zunächst durch die Auswaschung der leichter löslichen Chlorverbindungen des Seewassers und weiterhin durch die allmählich erfolgende Auslaugung des Calciumkarbonats. Am deutlichsten zeigt sich dies in der Verarmung der oberen Bodenschichten, die bei den älteren Marschboden, soweit sie frei von Muschelschalen sind, kaum noch Spuren von Calciumkarbonat enthalten. (F. Schucht[1]) sieht daher im Kalkgehalt des Marschbodens ein Maß für dessen Alter[2]).) Mit dem Calciumkarbonat schwindet der Bodenbestandteil, der gerade fur die tonreichen Boden von allergroßter Bedeutung ist, weil er mehr als die zurückbleibenden Calciumsilikate, -sulfate und -humate das Klebevermögen, die Plastizität, die Zähigkeit dieser Boden mildert und das Zustandekommen der Krümelstruktur fordert Zwar nimmt mit dem Tongehalt auch der Gehalt der Marschboden an Kali, Phosphorsäure, Stickstoff zu, wie die von Tacke[3]) mitgeteilten Zahlen dartun Im Durchschnitt enthielten die Oberflächenproben in Prozenten der trockenen Bodenmasse bei den

	Kali	Phosphorsäure	Stickstoff
leichten Böden	0,43	0,15	0,15
mittelschweren Böden .	0,50	0,20	0,28
schweren Boden . . .	0,60	0,24	0,43

Aber diesen Vorteilen steht die schwierige Bearbeitung der tonreichen Boden dräuend gegenüber

Auch, abgesehen von den sonstigen Übelständen der schweren Marschboden, konnen gewisse Bodenzustände das Leben des Marschwirts erschweren, nämlich das Auftreten von „Knick" und von „Pulvererde". Beide treten nur in älteren, ihres Kalkgehalts ganz oder großten Teils beraubten Marschböden auf.

Knick, auch „Dwog", „Dwo", „Sturz", „Stort", „Roodorn" u. a benannt, setzt bisweilen schon bei 20—30 cm Tiefe unter der Oberfläche ein und bildet eine von zahlreichen Eisenäderchen „durchschossene"[4]),

[1]) Schucht, Beitrag zur Geologie der Westmarschen, Stuttgart 1903.

[2]) Nach Untersuchungen von J. M. van Bemmelen, Landw. Vers.-Stat 1866, Bd 8, S. 285, verlor Boden aus dem Dollartpolder im Laufe von 194 Jahren 8,56 % Calciumkarbonat, also in 22,5 Jahren je 1 %.

[3]) A a O. S 10

[4]) Sie ruhren nach W. Wicke von Pflanzenwurzeln her, die bei der Verwesung ihres Eisengehalts in Form von Ferrihydroxyd an den Wanden der zurückgelassenen Rohrchen sich abgesetzt haben, wie man es in zahlreichen Böden beobachten kann,

von äußerst feinkörnigen, wahrscheinlich von oben eingeschlämmten Bodenteilchen durchsetzte Masse. Beim Austrocknen wird sie steinhart und für Wasser und Wurzeln ganz undurchlassig. Wenn sie auch von pflanzenschädlichen Stoffen frei ist, so besitzt sie doch alle Untugenden der Einzelkornstruktur [1]).

Sehr verschieden vom Knick, nach Entstehung und Eigenschaften, aber in der Literatur nicht selten mit Knick verwechselt, ist ein anderes Vorkommen in den Marschen: die *Pulvererde* (auch als „Gifterde", „Bettelerde", „Maibold" bezeichnet). Schon äußerlich, durch ihren hohen Gehalt an dunkelfärbenden Pflanzenstoffen, insbesondere den Resten des Gemeinen Dachrohrs (Phragmites communis; S. 117 u 120), unterscheidet sich die Pulvererde von dem meist nur rötlich gefärbten Knick. Und gerade diese Pflanzenreste sind, wie es bereits Wicke [2]) und vor ihm Karl Sprengel [3]) vermutete, wie es aber erst die Arbeiten von Karl Virchow an der Moor-Versuchsstation [4]) mit Sicherheit erwiesen haben, die schließliche Veranlassung zur schädlichen Wirkung dieses Bodens gewesen Sie führten bei der Vermoderung der abgestorbenen Rohrpflanzen eine Reduktion der Sulfate und der Ferriverbindungen und so die Entstehung von Eisenbisulfid (FeS_2) herbei (S 49). Das an sich für die Pflanzen unschadliche Schwefeleisen geht, wie früher dargelegt wurde, an die Luft gebracht, mit Wasser und Sauerstoff in Ferrosulfat und freie Schwefelsäure, also in zwei Pflanzengifte über, die allen Pflanzenwuchs vernichten konnen. Während das ungunstige Verhalten des Knicks ausschließlich seinen physikalischen Eigenschaften zur Last fällt, ist die Schädlichkeit der Pulvererde in ihrem Gehalt an *einer* chemischen Verbindung zu suchen. Dazu ist übrigens folgendes zu bemerken:

Auch der gesunde Marschboden kann Eisenbisulfid enthalten. Dieses kommt aber nicht zu schädlicher Wirkung, wenn genügende Mengen von Calciumkarbonat vorhanden sind, um die entstehende Schwefelsaure in Calciumsulfat (Gips) und das Eisensulfat in Calciumsulfat und Ferrioxyd umzusetzen ($2\,FeSO_4 + 2\,CaCO_3 + O = 2\,CaSO_4 + Fe_2O_3 + 2\,CO_2$) [5])

Den tonreichen schweren Marschböden ähneln in mancher Beziehung nach Zusammensetzung und Verhalten die „*Flußmarsch-*" oder „*Aue-*

[1]) Die altesten chemisch-physikalischen Untersuchungen des Knicks fuhrte W. Wicke-Göttingen aus (Journ. f. Landw 1862, S. 377. Siehe ferner die ausführliche Besprechung von P. Ehrenberg, Bodenkolloide, S. 406 ff).

[2]) Journ. f. Landw. 1862, S. 388.

[3]) K. Sprengel, Bodenkunde, Leipzig 1844, 2. Aufl.

[4]) K. Virchow, Inauguraldissertation, Berlin 1880 und I. Bericht uber die Arbeiten der Moor-Versuchsstation, Landw. Jahrbücher 1883.

[5]) Bei dem in Kap. V zu besprechenden, in den Marschmooren ublichen Kulturverfahren des „Kuhlens" prüfen die Arbeiter die aufzubringende „Kuhlerde" mittels Saure auf einen Gehalt an Calciumkarbonat.

böden" in den Talniederungen des oberen und mittleren Laufs der deutschen Ströme. Bei ihrer Bildung haben die Seesalze mit ihrer zusammenflockenden Wirkung gefehlt. Im Gegensatz zu den Meerwassertonen haben sich die Süßwasser- oder Auetone ebenso wie allermeist die Tertiärtone in dichter einzelkorniger Lagerung abgesetzt Sie zeigen von vornherein keine Krümelung und nehmen solche auch langsamer an, weil Humusstoffe und Kalkverbindungen in diesen Boden sparsamer vertreten sind als in den Seemarschböden.

Die Flußmarschboden erreichen fast nie die Mächtigkeit der Seemarschen. Ihre oberen Schichten sind durch Ferriverbindungen meist rötlich, die tieferen dagegen grau oder bläulich gefarbt (Gehalt an Ferroverbindungen!). Tritt der Tongehalt mehr zurück, so nähert sich der Charakter der Seemarsch- wie der Flußmarschböden immer mehr dem der Lehmboden

§ 118.

Die Lehmböden. (Vgl. auch § 38, 3) Der grundlegende Unterschied zwischen Lehm- und Tonboden ist in dem verschiedenen Gehalt an kolloidalem Ton zu suchen Während beim Tonboden der sehr hohe Gehalt an Bodenkolloiden die sonstigen, dem Pflanzenwuchs gunstigen Bodeneigenschaften in ihrer Wirkung beeinträchtigt, ist bei den Lehmböden durch die Anwesenheit nicht oder weniger kolloidal wirkender Bestandteile der „Ton"gehalt auf ein Maß herabgedrückt, welches die nützlichen Bodeneigenschaften zu voller Wirkung kommen läßt Gegenüber den Tonböden gibt der Wassergehalt der Lehmböden nur selten Anlaß zu Bedenken Er wird leichter an die Pflanzen abgegeben und ist nicht so groß, daß er Durchlüftbarkeit und Erwärmungsfähigkeit des Bodens schadigt. Die Lehmböden trocknen leichter ab, sind aber im abgetrockneten Zustand dem auffallenden Wasser leichter zuganglich als die ausgetrockneten Tonböden Sind sie auch armer an pflanzlichen Nahrstoffen, so stellen sie ihren Vorrat doch williger den Pflanzen zur Verfügung (Sie sind keine „geizigen" Boden) So bilden die Lehmböden ein Mittelglied zwischen Ton- und Sandböden. Sie sind aber in allen fur den Pflanzenwuchs wichtigen Eigenschaften dem letzteren überlegen

Übrigens sind auch die Lehmboden je nach ihrer Herkunft unter sich sehr verschieden. Einen weit größeren Umfang als die oben besprochenen, den Lehmboden zuzurechenden alluvialen, minder schweren Marschböden nehmen die Glieder der gleichen Bodengruppe ein, die uber ganz Deutschland, sowohl uber dessen Hohenflächen als uber die tiefer liegenden Flußgebiete, verbreitet, aus diluvialen Ablagerungen hervorgegangen sind. Schon durch die meist wellige oder hockerige Gestaltung ihrer Oberfläche wesentlich von den ebenen Alluvialbildungen verschieden, zeigen sie gegen-

uber deren Zusammensetzung aus gleichmäßig feinen Körnern eine aus feineren und gröberen Teilchen und oft mit zahlreichen Steinen durchsetzte Bodenmasse. Entsprechend der sehr verschiedenen Zusammensetzung ihres Muttergesteins (s die Einleitung zu Kap. V) ist auch ihr Gehalt an Ton, Sand und an pflanzlichen Nährstoffen Kalk, Magnesia, Kali sehr verschieden, was durch die Benennungen „sandige" (auch „milde", „mürbe") oder „tonige" (auch „strenge", „zähe" oder „schwere") Lehme zum Ausdruck gebracht wird.

Die Lößböden. Obwohl der Gehalt der Lößboden an tonigen Stoffen weit geringer ist als der der gewohnlichen Lehmböden, sind sie dennoch hinsichtlich ihrer sonstigen Zusammensetzung und ihrer physikalischen Eigenschaften am ersten noch der Lehmbodengruppe zuzuteilen. Besonders gilt dies fur einen Abkömmling des Lößes, dem „Lößlehm", in welchem sich infolge der Auslaugung anderer Bestandteile der Gehalt an kolloidalen Stoffen angehäuft hat. Wie in § 71 geschildert wurde, enthält der Löß alle für die Pflanzenentwicklung notigen Bestandteile in äußerst günstiger Form und Verteilung Dabei tritt selbst in dem mit kolloidalen Bestandteilen angereicherten Lößlehm der kolloidale Charakter nicht so weit hervor, daß er das Festhaltungsvermögen des Bodens für Wasser und Nährstoffe gegenuber den Pflanzen ungunstig beeinflußte. (Offenbar fehlen den Loßböden der besonders stark auf die Verklebung hinwirkende „Kolloidton", s. S. 159) Dabei nehmen die Loßböden, sofern sie nicht allzu stark entkalkt sind, leicht Krümelstruktur an Sie sind in hohem Grade erwärmungsfähig, und Wurzeln, Wasser und Luft dringen in große Tiefen ein. Trotz ihres nicht besonders hohen Gehalts an pflanzlichen Nährstoffen gehoren die Lößböden wegen ihrer überaus glücklichen physikalischen Eigenschaften zu den geschätztesten, dabei aber für Zufuhr von Pflanzennahrung, insbesondere fur Phosphorsäure und Stickstoff, sehr dankbaren Bodenarten

Kennzeichnend für ihre Entstehungsweise ist es, daß sie ebenso wie die alluvialen Lehmböden eine ebene Oberflache besitzen.

Große Flächen Deutschlands, so das Donautal, das Rheintal mit seinen wertvollsten Weinbergsböden, das Elbtal mit der Magdeburger „Borde" und seinen großartigen Gartenländereien bei Quedlinburg und Erfurt, das Odergebiet mit den Posenschen Hopfenboden und dem beruhmten Kujawischen Weizenboden und das Weichseltal mit seinen fruchtbaren „Werdern" sind mit Lößboden gesegnet

§ 119.

Kalk- und Mergelboden (vgl § 37, 4 und 5) nennt man solche *Böden, die neben wechselnden Mengen von tonigen und sandigen Bestandteilen einen erheblichen Gehalt an Calciumkarbonat oder an Calciumkarbonat und Magne-*

siumkarbonat aufweisen Bilden diese Karbonate den Hauptbestandteil des Bodens, so daß sandige und tonige Beimengungen ganz zurucktreten, so hat man es mit *eigentlichen Kalkboden* oder, wenn neben Calciumkarbonat auch Magnesiumkarbonat in etwa gleicher Menge vorhanden ist, mit *Dolomitböden* zu tun. Sind in einem Boden erheblichere Mengen von Calciumkarbonat gleichmäßig in einer sandigen oder tonigen oder sandigtonigen Grundmasse verteilt, so wird er als *Mergelboden* (oder, bei gleichzeitiger Anwesenheit großerer Mengen Magnesiumkarbonat, als „dolomitischer Mergelboden") bezeichnet

Die *eigentlichen Kalkböden* mit einem bis auf 80 % Calciumkarbonat steigenden Kalkgehalt gehoren nicht bloß wegen ihrer Armut an kolloidalen und für die Pflanzenernährung wichtigen Stoffen, sondern auch wegen ihrer ungünstigen physikalischen Eigenschaften (namentlich wegen ihrer Trockenheit) zu den unfruchtbarsten Bodenarten. Man bezeichnet sie als „hitzige" Böden, weil in ihnen alle Umsetzungsvorgänge sich so sturmisch vollziehen, daß die entstehenden Nährstoffe zum großen Teil den Pflanzen verlorengehen Dagegen sind die *Mergelböden* landwirtschaftlich von hoher Bedeutung Je nach dem großeren oder geringeren Gehalt an Calcium- (bzw Magnesium-) Karbonat unterscheidet man zwischen *tonigem* oder *lehmigem Mergelboden* und *mergeligem Ton-* oder *Lehmboden* Der erstere enthalt uber 30 %, der letztere 2 bis hochstens 30 % Calciumkarbonat. In den Mergelböden mit mittlerem Ton- und Kalkgehalt sind die charakteristischen Eigenschaften des Tones durch die Beimengung von Calciumkarbonat in glucklichster Weise gemaßigt Die Mergelböden sind zur *Krümelbildung* sehr geneigt, die *Wasserkapazitat* des Tons ist auf ein fur die *Durchluftung* und *Erwärmung* günstiges Maß herabgedrückt Die *Humusbildung* erfolgt unter diesen Verhältnissen, befördert durch die Anwesenheit des Karbonates, leicht, zugleich ist das letztere der Überfuhrung des *Pflanzenstickstoffs* in *Salpetersaure* gunstig Der Gehalt an Pflanzennahrstoffen ist häufig ein sehr hoher, das *Absorptionsvermogen* für Phosphorsaure ist hoch, für Kali nicht so hoch, daß es einer schnellen Verwertung des Bodenkali durch die Pflanzen im Wege steht. Die Mergelboden gehoren mithin zu den „tatigen" Böden

Eine bemerkenswerte Eigenschaft aller Kalkboden ist es, daß das Calciumkarbonat verhältnismäßig schnell aus den oberen Schichten in die Tiefe gewaschen wird (S 43 und 213)

§ 120.

Die Humusboden (uber Humus s. § 58) sind *Sand-, Ton-, Lehm- und Kalkboden, die durch großere Beimengungen von humosen Stoffen dunkel gefarbt und auch in ihren ubrigen Eigenschaften, nicht selten zum Vorteil*

für ihre landwirtschaftliche Verwertung, erheblich verändert sind[1]). Wie früher erörtert worden ist, befördert eine Beimengung von Humusstoffen bei den meisten Böden den Eintritt der *Krümelstruktur* bei den Sandböden (auch bei den sehr kalkreichen Kalkböden), indem sie die Einzelkörner zu Kornaggregaten „verkitten", bei den Tonböden und Lehmböden, indem sie deren Kohärenz verringern. Hierdurch wird zum Nutzen für den Pflanzenwuchs die *Wasserkapazität* der Sandböden vergrößert, die der Tonböden verringert, in allen Fällen die *Durchlüftung* des Bodens erleichtert und seine *Erwärmungsfähigkeit* erhöht, falls nicht (bei besonders starkem Humusgehalt) seine Wasserverhältnisse dadurch in ungünstiger Weise verändert worden sind. Sehr wesentlich ist der Humusgehalt insofern, als durch ihn der Boden zugleich mit *Stickstoff* angereichert wird (s. die Tabelle S. 184). Der große Stickstoffgehalt in Verbindung mit der vorhandenen Bodenfeuchtigkeit ist allerdings zugleich die Ursache für die starke Unkrautwüchsigkeit der humosen Böden. Ungünstig können die Humusstoffe auf den Kulturwert der Böden auch insofern wirken, als sie die Erscheinung der Spätfröste und des Auffrierens (§ 90 und § 98) fördern. Endlich sind sie namentlich bei mangelhafter Durchlüftung der Entstehung schädlicher Reduktionsvorgänge günstig. Natürlich werden die Eigenschaften der Humusböden nicht nur durch die Beschaffenheit ihrer mineralischen, sandigen, tonigen, kalkigen Grundmasse, sondern auch durch die Art der Pflanzen beeinflußt, aus denen die Humusstoffe hervorgegangen sind. Als Beimengung wird der aus kalkreichen Pflanzen hervorgegangene „milde", nicht saure Humus

[1]) Es mag hier (s. auch S. 134 Anm. 1) ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die Einreihung der Moorböden in die Humusbodengruppe aus einer Zeit stammt, da man vom Wesen der Moorböden noch keine klare Vorstellung hatte. Ihre für die Kulturmaßnahmen ausschlaggebenden Eigentümlichkeiten rechtfertigen durchaus die Zuweisung zu einer besonderen Bodenklasse. Während die Eigenschaften der Humusböden sehr wesentlich durch ihre mineralische Grundmasse bestimmt und durch die beigemengten pflanzlichen Bestandteile nur mehr oder weniger modifiziert werden, bestehen die Moorböden — abgesehen von den durch Wind oder Wasser ihnen zugeführten mineralischen Gemengteilen — aus pflanzlicher Masse, und ihr kulturelles Verhalten richtet sich *fast* ausschließlich nach deren Beschaffenheit.

Wie sich zwischen allen Bodenklassen des Thaer'schen Einteilungssystems Übergangsstufen finden, so auch zwischen den Humusboden und den Moorböden. Hierzu kann man die sog. „anmoorigen" Heidesandboden rechnen, wie sie unter anderem in großem Umfang im nordwestlichen und nordöstlichen Deutschland vorkommen (Lüneburger Heide, Tucheler Heide). Es sind Böden, die zwar Torfpflanzen hervorbringen, bei denen es aber aus irgendeiner Ursache, meist wohl wegen nicht ausreichender Bodenfeuchtigkeit, zu einer eigentlichen Torfbildung nicht gekommen ist (s. auch unter Sandboden S. 207). — Weitere Beispiele s. die folgende Seite.

erheblich günstiger wirken als der den anspruchslosen Heidekräutern und Torfmoosen entstammende saure Humus unserer Sandheiden. Hier wird die wohltatige Humusbeimengung meist erst durch Zufuhrung kalkreicher Stoffe sich bemerklich machen.

So sind auch den sauren Heidesanden die aus dem Loß entstandenen Humusböden weit überlegen In großem Umfang treten sie als „*Schwarzerde*" im sudwestlichen Rußland, in den Steppengebieten des Dnjepr, Don und der Wolga auf. Sie werden hier „Tschernosem" oder „Tschernosjom" genannt Zu ihnen ist auch der schwarze „kujawische" Boden im Odergebiet, Provinz Posen, zu rechnen. Sie alle sind Böden von sprichwortlich gewordener Fruchtbarkeit

Zu den Humusboden gehört endlich noch eine Bodenart, die sich im beträchtlichem Umfang im Memeldelta, aber auch in anderen Flußmarschgebieten findet, und die aus einem innigen Gemisch von Schlickstoffen und einem hauptsächlich aus Rohr und Schilf hervorgegangenen milden Humus besteht Bisweilen tritt der letztere so in den Vordergrund, daß der Boden die Bezeichnung „*Schlickmoor*" verdient. Er bildet nach seiner Entstehung und nach seinem Verhalten zum Pflanzenwuchs einen Übergang zu den Niederungsmooren wie der Heidehumusboden zu den Hochmooren

§ 121.

Die Moorböden. (Vgl. §§ 61—69.) Nach den fruheren eingehenden Erörterungen uber die Moorbildung versteht man unter Moorboden solche *Boden, die im wesentlichen nur aus den Resten abgestorbener Pflanzen bestehen* Von den Mineralböden unterscheiden sich die Moorboden also dadurch, daß ihre *mineralischen* Bestandteile weit hinter den *verbrennlichen* zurücktreten (Tab I, S. 184), ferner durch ihr sehr geringes *Raumgewicht* in trockenem Zustande (Anm S. 185) und ihren unter naturlichen Verhaltnissen auffallig hohen *Wassergehalt.* Bei ihrer hervorragenden *Wasserkapazität* sind die Moorböden *im Naturzustande* den „nassen" und „kalten" Boden zuzurechnen Sie sind *schwer durchlassig,* daher auch schwer *durchlüftbar* und zu ungunstigen Zersetzungsvorgangen geneigt. Mit Wasser vollgesogen, erwarmen sie sich nur langsam und unterliegen sehr leicht im Winter dem „*Auffrieren*" [1]), im Frühjahr und Sommer den „*Spatfrösten*" [2]). Beim Austrocknen erleiden sie erhebliche *Volumanderungen* („Schrumpfen", s. S 158). Eine kraftige Wasserentziehung gestaltet jedoch ihr Verhalten zum Pflanzenwuchs so günstig, daß man zweckmaßig behandelte Moore zu den dankbarsten Kulturboden rechnen darf. Eine allzu starke Wasserabzapfung wirkt — abgesehen von anderen schlechten

[1]) S. S. 167

[2]) S. S. 179.

Folgen — besonders deswegen ungünstig, weil Moor, das bis zu einem bestimmten Grad ausgetrocknet ist, nur äußerst schwer wieder Wasser annimmt (Entstehung von „Moor-“ oder „Mullwehen“ [1]). Ist ein Moorboden auf das richtige Maß entwässert, so erwärmt er sich zufolge seiner dunklen Färbung schnell, und seine kolloidalen Eigenschaften sowie sein *Kapillarvermögen*, die ihn befähigen, die auffallenden Niederschläge sehr festzuhalten und in trockenen Zeiten die den Pflanzen nötige Feuchtigkeit aus den tieferen Schichten heraufzuholen, gewähren ihm vor den meisten Mineralböden einen erheblichen Vorzug.

Der Gehalt der verschiedenen Moorböden an *Pflanzennährstoffen* richtet sich in erster Linie nach der Art der Pflanzen, aus denen sie entstanden sind, und weiterhin nach den Umständen, die bei ihrer Entstehung mitgewirkt haben (§§ 63 ff) Alle Moorboden sind arm an *Kalium*verbindungen Nur solche Moore, die Überflutungen mit schlickhaltigem Wasser unterworfen sind, konnen — auf Trockensubstanz berechnet — bisweilen mehr als 0,1 % Kali enthalten. Die *Hochmoorboden* enthalten gewohnlich auch so wenig *Calcium*- und *Stickstoff*verbindungen, daß für die Erzielung befriedigender Ernten diese Stoffe ihnen zugefuhrt werden müssen. Dagegen zeichnen sich die *Niederungsmoorboden* allermeist durch einen hohen Gehalt an *Calcium*- und *Stickstoff*verbindungen, bisweilen auch an *phosphorsauren* Salzen aus Nach den Untersuchungen der Moor-Versuchsstation liegt — auf Trockensubstanz frei von zufälligen Bestandteilen (Sand, Ton u a) berechnet — der Kalkgehalt bei den Hochmooren stets unter 0,5 %, der der Niederungsmoore stets über 2,5 %. Während die Hochmoorboden an zufälligen Bestandteilen hochstens geringe Mengen von übergewehtem *Sand*- oder *Ton*staub enthalten, finden sich in den Niederungsmooren nicht selten größere Beimengungen von *Kieselerde* (Quarzsand, Kieselgur u. a.), *Ton*, *Wiesenmergel*, *Eisenverbindungen* Die Übergangsmoore stehen hinsichtlich ihres Gehaltes an mineralischen Bestandteilen und an Stickstoffverbindungen zwischen Hoch- und Niede-

[1]) S. daruber S. 157. Ihre Dämpfung ist nur durch lange, andauernde, mühsame und kostspielige Arbeiten zu erreichen. So war in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in dem 8000 ha großen Wietingsmoor im Wesergebiet bei übermaßig starkem Auftrieb von Weideschafen der Heidewuchs des Hochmoors derartig zerstört, daß die bloßgelegte Mooroberflache unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen zu einer staubigen Masse austrocknete, die kein Wasser mehr annahm, keinen Pflanzenwuchs mehr aufkommen ließ und durch Überwehen der Nachbaräcker mit Moorstaub diese fast unnutzbar machte. Den unermüdlichen Bestrebungen des Forstmeisters Deckert-Hannover ist es nach langer Zeit gelungen, durch Anlage von kleinen mit Eichen und Kiefern bepflanzten Wallen und durch Besaen der so von den Winden geschützten Flachen mit anspruchslosen Grasern sie zur Ruhe zu bringen und wieder Heidewuchs zu ermöglichen.

rungsmoorböden. Sie sind daran um so ärmer, je mehr hochmoorbildende Pflanzen sich an ihrer Entstehung beteiligt haben.

Die in den Moorboden enthaltenen Pflanzennährstoffe und namentlich ihr Stickstoff sind den Kulturpflanzen um so leichter zugänglich, je vollkommener humifiziert die moorbildenden Pflanzenreste sind. Noch schneller werden die Mineralstoffe des Moorbodens für die Pflanzen aufnehmbar, wenn er gebrannt wird („Brennkultur“ [1]); hierbei gehen die humussauren Salze in Karbonate über, ein Teil des Moorstickstoffs wird in Ammoniak übergeführt, auch werden die Phosphorverbindungen den Pflanzen zugänglicher. Über die lösende Wirkung, welche die mit dem Brennen verbundene Erhitzung des Moores durch Verminderung der Adsorption ausübt, s. S 193 — Im allgemeinen unterliegen die moorbildenden Pflanzen der Niederungsmoore der Zersetzung leichter als die der Hochmoore. Kräftige *Durchluftung* und, bei den Hochmooren, Zufuhr *kalkreicher* Stoffe wirken energisch auf die Humusbildung ein Sobald die Pflanzenreste ihre pflanzliche Struktur verloren haben, stellt sich auf beiden Moorbodenarten unter dem Einfluß geeigneter Behandlung bald *Krümelstruktur* mit ihren heilsamen Folgen ein.

Entsprechend den sehr verschiedenen Pflanzenarten, die sich an der Bildung der Niederungsmoore und der Hochmoore betätigt haben, weisen beide Moorgruppen hinsichtlich ihres Gehalts an Pflanzennährstoffen und ihres Verhaltens gegen Pflanzenwuchs und Kulturmaßnahmen große Unterschiede auf Wie die Übersichten I und II S 184 und 185 erkennen lassen, sind die Niederungsmoore an allen pflanzlichen Nährstoffen reicher als die Hochmoore. Besonders deutlich tritt der Unterschied im Stickstoff- und Kalkgehalt hervor, aber auch an Phosphorsäure sind manche (die eisenreichen!) Niederungsmoore so reich, daß sie einer Phosphorsäuredüngung nicht bedürfen Außerdem zersetzen sich die niederungsmoorbildenden Pflanzenreste an sich und infolge ihres hohen Kalkgehalts weit

[1]) Die bereits S. 193 erwähnte Moorbrennkultur, wohl das älteste Moorkulturverfahren, wurde in den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts von Holland her nach den ostfriesischen Hochmooren übertragen, später auch auf deutschen Niederungsmooren ausgeübt. Wenn es dabei gelang, ohne Düngung eine Reihe von Jahren hindurch ansehnliche Ernten — auf den Hochmooren meist an Buchweizen — zu erzielen, so erwies sich doch das Verfahren als eine Raubkultur schlimmster Art, und die schon zu Friedrichs des Großen Zeit auf den ostfriesischen Hochmooren begründeten und auf „Brandbuchweizenbau“ angewiesenen Ansiedlungen gerieten bald derartig in Verfall, daß sie der wirksamste Anstoß zur Bekämpfung dieser Kulturen und zur Einführung besserer Verfahren wurden. Heute wird das Brennen auf den Hochmooren nur noch stellenweise entweder zur Zerstörung besonders zäher Pflanzenreste oder bisweilen zur Gewinnung düngender Torfasche aus dem durch Tiefpflügen aus dem Untergrund heraufgeholten Moostorfs ausgeübt („Überbrennen“ des Mooräckers).

leichter als der Hochmoortorf. Die Stickstoff-, Kali-, Kalk- und Magnesiaverbindungen der Niederungsmoore werden daher auch leichter in Pflanzennahrung übergehen als die der Hochmoore. Für die Stickstoffverbindungen wurde dies durch die Untersuchungen der Moor-Versuchsstation [1]) bewiesen, welche dartaten, daß unter gleichen Verhältnissen vom Niederungsmoorstickstoff größere Mengen in Ammoniak und Salpetersäure übergehen als vom Hochmoorstickstoff. Letzterer wird zwar auch bei Zufuhr größerer Kalkmengen nitrifiziert, aber nicht so stark wie der Niederungsmoorstickstoff.

Gegenüber diesen Vorzügen der Niederungsmoore ist hervorzuheben, daß die Hochmoorböden infolge ihres großen Gehalts an noch wenig zersetzten, daher stark kapillar wirkenden pflanzlichen Zellen und Gefäßen einen größeren Wasservorrat zu besitzen pflegen als die Niederungsmoore, eine Tatsache, die ihnen in regenarmen Zeiten sehr zustatten kommt. Wenn dennoch bei anhaltender Trockenheit gut entwässerte Hochmoore stärker geschädigt werden als ebenso gut entwässerte Niederungsmoore, so erklärt sich das leicht aus dem Umstand, daß die Pflanzen auf dem Hochmoor flacher wurzeln, weil sie nur so tief in den Boden eindringen, als dieser durch künstliche Maßnahmen, insbesondere durch Kalkung, genügend entsäuert ist

Die physikalischen Eigenschaften der Moorböden werden auf das günstigste beeinflußt durch Bedeckung oder Vermischung ihrer oberen Schichten mit geeigneten mineralischen Bodenarten. Das erstere geschieht u. a. bei der Rimpauschen *Dammkultur* („Sanddeckkultur“), bei der eine Sandschicht von etwa 12 cm Stärke auf das Moor gebracht und möglichst unvermischt an der Oberfläche erhalten wird, das letztere bei der *niederländischen „Moorkultur“* („Sandmischkultur“), bei welcher die aufgebrachte Sandschicht (5—10 cm) innig mit der obersten Moorschicht vermischt wird. Beide Kulturverfahren haben zunächst die Wirkung, daß der lose, weiche Moorboden an seiner Oberfläche *fester* und dem Zugvieh und schwerem Ackerwerkzeug zugänglich wird. Ferner wird das *Kapillarvermögen* der oberen Bodenschicht und damit die *Wasserverdunstung* wesentlich herabgesetzt Untersuchungen der Moor-Versuchsstation ergaben, daß von dem im Verlauf eines Jahres auf den Boden fallenden Regenmengen verdunsteten:

Auf dem nackten Moor	Auf dem an der Oberfläche mit Sand gemischten Moor	Auf dem mit grobem Sand bedeckten Moor [2])
29,3 %	25,5 %	11,6 %.

[1]) Tacke, IV. Bericht ü. d. Arb. d Moor-Versuchsstation S. 349 (s Literaturverzeichnis).

[2]) Die Ursache dieser Erscheinung liegt nahe. Auf dem nackten Moor wird das an der Oberfläche verdunstende Wasser immer wieder vermöge der starken

Die Vermischung und mehr noch die Bedeckung der Mooroberflache mit mineralischem Boden wirkt mithin *feuchtigkeiterhaltend* auf den Moorboden [1]) Einen so behandelten Moorboden wird man daher ohne Gefahr, daß er zu stark austrockne, weit tiefer entwassern *dürfen* als das nackte Moor. Ja, es kann mit Hilfe der Besandung gelingen, Moorboden, die durch irgendwelche Maßnahmen anscheinend viel zu trocken für die Kultivierung gelegt worden sind, selbst fur den Anbau feuchtigkeitliebender Gräser tauglich zu machen. Auf der anderen Seite wird man besandete Moore auch weit tiefer entwässern *müssen*, wenn sie nicht für Kulturpflanzen zu trocken werden sollen [1]).

Wohl zu beachten ist ferner, daß die Sanddecke das Eindringen der Luft in den Boden erschwert, indem sie deren unmittelbare Berührung mit dem Boden verhindert und den Wassergehalt des Moores unter dem Sand erhoht. Die Zersetzung der moorbildenden Pflanzenteile wird daher durch die Sanddecke verlangsamt. Somit darf das Deckverfahren nur auf solchen Mooren zur Anwendung kommen, die wenigstens in den oberen Schichten bereits eine erdige Beschaffenheit besitzen. Auf Hochmooren mit ihrer schwer zersetzlichen Bodenmasse hat sich die Deckkultur nicht bewährt. Dagegen ist die in Groningen und Drenthe, den östlichen, an Hochmooren reichen Provinzen des Konigreichs der Niederlande ausgebildete und von dort aus auch auf die Hochmoore des nordwestlichen Deutschlands ubergegangene Sandmischkultur für die Entstehung der weltberühmten niederlandischen „Veenkolonien" von großter Bedeutung geworden [2])

Kapillarkraft des Moorbodens von untenher ersetzt. Bei dem mit Sand bedeckten Moor erfolgt der Ersatz weit langsamer, der Boden trocknet an der Sandoberflache fast ganz aus, wodurch die Verdunstung erheblich herabgesetzt wird. Bei dem an der Oberflache mit Sand gemischten Moor kann zwar der vorhandenen Moorteilchen wegen mehr Wasser an die Oberflache gelangen, immerhin sind aber die aufsaugenden Kapillaren durch die Sandkörner derartig unterbrochen, daß der kapillare Aufstieg ein langsamerer, die Verdunstung also vermindert wird Es kommt hinzu, daß auch das im Regen auffallende Wasser, das vom nackten Moor schon an der Oberflache zuruckgehalten wird und hier der Verdunstung anheimfallt, durch die durchlassigere Moor-Sand-Mischung und noch mehr durch die reine Sanddecke rasch hindurchdringt und so der Verdunstung entzogen wird.

[1]) Die Gefahr der übermaßigen Bodennasse ist beim Moorboden besonders groß. Um den Pflanzen zugute zu kommen, mussen dessen Bestandteile erst Umwandlungen erleiden (s. o.), die nur bei kraftiger Durchlüftung sich vollziehen. Fehlt die letztere, so finden bei keinem Boden leichter als hier andersartige, dem Pflanzenwuchs verhangnisvolle Umsetzungen statt (S. 167). Die Behandlung ungenügend entwasserter Moore ist ein Fehler, an dem manche Kultur zugrunde gegangen ist. S. daruber auch Fleischer, Moorwiesen und Moorweiden S. 36 (Literaturnachweis).

[2]) Über die Besiedlung der Moore s. die von Freunden des Freiherrn von Wangenheim herausgegebene Schrift: Die Moorbesiedlung in Vergangenheit und Zukunft, Berlin 1920, P. Parey.

Infolge der geringeren Verdunstungsgröße und der geringeren Wasserkapazität der oberen Bodenschicht besitzt der mit Sand bedeckte Moorboden in den wärmeren, für die Vegetation besonders wichtigen Jahreszeiten eine höhere *Durchschnittstemperatur* als der an der Oberfläche mit Sand gemischte, und dieser eine höhere als der nackte Moorboden [1])

Seitens der Moor-Versuchsstation [2]) wurden folgende Zahlen für die Temperatur bei 11 cm Bodentiefe gefunden

Im nackten Moorboden		In dem an der Oberfläche mit Sand gemischten Moor		In dem mit Sand bedeckten Moor
Im Durchschnitt des ganzen Jahres:				
7,92°		8,41°		9,01°
	Unterschied 0,5°		Unterschied 0,6°.	
Im Durchschnitt der Vegetationszeit:				
11,9°		13,8°		14,7°
	Unterschied 0,9°		Unterschied 0,9°.	

Es war mithin während der Vegetationszeit das mit Sand gedeckte Moor bei 11 cm Tiefe um annähernd 2° wärmer als das nackte Moor.

An Stelle des von dem Erfinder der Moordammkultur, Th. H. Rimpau, zum Bedecken des Moores benutzten, ziemlich grobkörnigen Sandes sind mit mehr oder weniger gutem Erfolg auch andere mineralische Bodenarten verwendet worden. Überschreitet die *Grobkörnigkeit* des Sandes ein gewisses Maß, so wirkt er überhaupt nicht mehr kapillar, die Verdunstung wird völlig gehemmt, und es liegt die Gefahr vor, daß das Moor zu naß bleibt, während die Sanddecke so stark austrocknet, daß die eingesäten Körner nicht zum Keimen gelangen. Sehr *feinkörniger* Sand begünstigt zwar die Verdunstung [3]), beschränkt aber durch dichte Zusammenlagerung das Eindringen der Luft. Dasselbe läßt sich von sehr *tonreichen* Bodenarten sagen. So gut eine schwache Beimengung von tonigen Bestandteilen insofern wirken kann, als sie den losen Sand befestigt und vor dem Verwehen schützt, so unheilvoll verhält sich eine an Ton sehr reiche Decke. Sie stört die Durchlüftung und wird beim Austrocknen hart und rissig.

[1]) Ob die niedrigere Durchschnittstemperatur des nackten Moores zu einem Teil auch auf ein stärkeres Wärmeausstrahlungsvermögen der rauhen und dunklen Oberfläche zurückzuführen ist, wird durch die bisher vorliegenden Versuche noch nicht entschieden.

[2]) Fleischer, III. Ber. über die Arb. d. Moor-Versuchsstation S. 771 (s. Literaturnachweis).

[3]) Bei Versuchen von M. Fleischer (Mitt. d. Ver. z. Förd. d. Moorkultur, Jahrg. 1897, S. 401) verdunsteten auf Moorboden, der mit Sand von verschiedener Korngröße gedeckt war, in dem gleichen (regenlosen) Zeitraum auf 1 Quadratmeter berechnet folgende Wassermengen:

	4	4,7	5,0	6,5	7,1	8,3 kg
Größe der Körner des Decksandes	über 0,5	0,35—0,5	0,25—0,35	0,2—0,25	0,15—0,2	unter 0,15 mm.

Eine Beimengung von *Kalk* ist der Entstehung der Krumelstruktur in der Bodendecke und dadurch dem Pflanzenwuchs sehr günstig. Außerdem macht sie die aus etwa vorhandenem Schwefeleisen entstehenden Pflanzengifte unschädlich. Falls diese in großerer Menge im Bedeckungsmaterial oder im Moor vorhanden sind, können sie das Gedeihen der Moordammkulturen auf das außerste gefahrden [1]).

Sanddeck- und Sandmischkultur bezwecken ausschließlich eine Verbesserung der physikalischen Verhaltnisse des Moorbodens. Dagegen wird durch ein seit langer Zeit auf den nordwestdeutschen Marschmooren (S. 120) übliches Kulturverfahren, das „Überkuhlen" oder „Überkleien", zugleich eine Anreicherung des armen Hochmoors mit wichtigen Nahrstoffen erzielt [2]). In früheren Zeiten brachte man wie bei der Rimpauschen Sanddeckkultur eine 10—12 cm starke Mineralbodenschicht aus dem Moorunterqrund auf, wobei die Pflanzen ausschließlich auf Kosten der „gekuhlten" Erde lebten und ihre Wurzeln nicht in das Moor senken konnten Heute ermaßigt man nach dem Vorgehen der Moor-Versuchsstation im Kedinger Marschmoor die aufgebrachte Marscherdemenge auf eine Schicht von 3 cm Starke und vermischt sie mit der oberen Moorschicht (wodurch diese zugleich genugend entsäuert wird). Man erreicht so, daß das Moor mit Pflanzennahrstoffen versorgt und auf großere Tiefe den Pflanzenwurzeln zugänglich wird. Ebenso wie bei der Rimpauschen Sanddeckkultur hat man sich beim Kuhlen sorgfältig vor dem Aufbringen schwefeleisenhaltiger Marscherde zu hüten (S. 214)

§ 122.

***Die Prüfung des Moorbodens** auf seine land- und forstwirtschaftliche Verwertbarkeit* Die Nutzung der Moore fur landwirtschaftliche Zwecke ist keineswegs neu Aber die fruher zu ihrer Kultivierung eingeschlagenen Verfahren waren fast durchweg rein empirische Kunstgriffe und weit entfernt von einer genaueren Kenntnis der das Gelingen bedingenden Eigenschaften der verschiedenen Moorboden Zahlreiche Versuche, Kulturmethoden, die sich auf einem Moor bewahrt hatten, auf ein anderes zu ubertragen, sind an diesem Mangel gescheitert. Nach unserem heutigen Wissen weisen aber die verschiedenen Moore gewisse Merkmale und teilweise zutage liegende Anzeichen auf, deren Kenntnis vor allzu großen

[1]) Über die Prufung eines Bodens auf das Vorhandensein schadlicher Schwefelverbindungen s. S. 200.

[2]) Das Heraufbringen der Marscherde, das „Kuhlen" oder „Wuhlen", erfolgte fruher durch Handarbeit Jetzt benutzt man dazu Maschinen (etwas abgeanderte Brosowskische Torfstechmaschinen), die entweder durch Menschenhand oder in neuester Zeit durch elektrischen Antrieb in Bewegung gesetzt werden.

Mißgriffen schützt und wertvolle Fingerzeige für die geeignetste Nutzungsweise und das zu wählende Kulturverfahren bietet. Wenn der Verfasser auch bemüht gewesen ist, gelegentlich der Erörterungen über Moorbildung und über Zusammensetzung und Verhalten des Moorbodens diejenigen Eigenschaften besonders hervorzuheben, die bei der Kultivierung eines Moores eine Rolle spielen, so erscheint es ihm doch nicht unnützlich, hier nochmals die Punkte zusammenzufassen, auf die der Landwirt und der Kulturtechniker vor der Inangriffnahme eines Moores sein Augenmerk vornehmlich zu richten hat.

Eingedenk des einschneidenden Einflusses, den ein Zuviel und ein Zuwenig an Wasser im Moor auf das Gedeihen des Pflanzenwuchses ausübt, wird er auf das sorgfältigste alle Umstände, die auf die Wasserverhältnisse einwirken, zu prüfen und ferner zu ermitteln haben, für welche Nutzungsarten und Kulturmethoden die geeignete Entwässerung beschafft werden kann. Ergibt sich hierbei, daß die für Acker-, Wiesen- oder Waldanlagen nötige Wassersenkung mit wirtschaftlich gerechtfertigten Kosten nicht zu erreichen ist, so kann doch allermeist noch eine Verwendung der Flächen zur Herstellung von Fischteichen [1]) oder zum Anbau von Dachrohr oder Streugräsern [2]) in Frage kommen

Die Verwertung von sehr naß belegenen Mooren zur Gewinnung von Dachrohr (Phragmites communis) und von Gräsern zur Einstreu in Viehställe („Streuwiesen“) ist besonders in der Schweiz sowie auch in Österreich weit verbreitet und erzielt hier in vielen Fällen Gelderträge, die dem Reingewinn aus besten Futterwiesen nicht nachstehen.

Ob die mit wirtschaftlichen Kosten zu beschaffende Entwässerung für die beabsichtigte Nutzungsart ausreicht, hängt zunächst von dieser und von der ins Auge gefaßten Kulturmethode ab. Bei den norddeutschen Mooren ist für die Verwendung des *unbesandeten* Moores als *Acker* („Schwarzkultur“) im allgemeinen eine Wasserhaltung von 60—70 cm unter Oberfläche, für die Nutzung als *Wiese* eine solche von 40—50 cm, als *Weide* eine solche von 50—60 cm anzustreben [3]). Die Verwendung von Mineralboden zur Bedeckung oder Vermischung der Mooroberfläche bedingt eine Verstärkung der Wassersenkung bei der (nur für gut zersetzte Niederungsmoore i

[1]) S. die Abhandlung von K. Knauthe, Die Moorteiche in seinem Werk Die Karpfenzucht, Neudamm 1901.

[2]) Näheres darüber, über die Pflanzenbestände der Streuwiesen und ihre Behandlung s. F. G. Stebler, Die Streuwiesen der Schweiz im Landwirtschaftlichen Jahrbuch der Schweiz, 11. Bd., 1897 und F. G. Stebler, Die besten Streupflanzen, Bern, ferner H. Schreiber, Leitpflanzen der Sumpfrieder im IX. Jahresbericht der Moorkulturstation Sebastiansberg, Staab 190[illegible] und Fleischer, Moorwiesen und Weiden, Frage 39 (Literaturnachweis).

[3]) Bei der Bemessung der Wassertiefen sind die klimatischen und insbesondere die Niederschlagsverhältnisse zu berücksichtigen.

Frage kommenden) *Rimpauschen Ackersanddeckkultur* auf mindestens 100 cm, bei der *holländischen Ackersandmischkultur* auf etwa 90 cm. Auch *Graskulturen* vertragen und verlangen, wenn sie besandet werden sollen, eine stärkere Wassersenkung.

[Die angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Verhältnisse in den norddeutschen, zum überwiegenden Teil im Flachland belegenen Moore. Die süddeutschen, österreichischen und schweizerischen Moore unterscheiden sich zwar hinsichtlich der Zusammensetzung ihrer Torfsubstanz nicht oder doch nicht so wesentlich von den norddeutschen, daß sie eine *grundsätzlich* verschiedene Behandlung bei ihrer Kultur verlangten. Wohl aber können die eigentümlichen Lage-, klimatischen, Niederschlags- und Bodenwasserverhältnisse der südlichen Moore gewisse Abweichungen von den in Norddeutschland üblichen Entwässerungsmaßnahmen bedingen [1]).

Ein großer Teil derselben gehört den *Gebirgsmooren* an. Viele von ihnen lagern auf Gebirgskämmen („Sattelmoore") oder auf Bergabhängen („Hangmoore"). Obwohl sie vielfach sehr quellig sind, beanspruchen sie bei ihrem meist starken Gefälle (bis zu 8 %!) große Vorsicht hinsichtlich der Entwässerungsanlagen. Die Mehrzahl dieser Moore liegt auf Moränengeröll, wo sie sich über einer aus zerriebenem Moränengestein entstandenen, schwer durchlässigen Ton- oder Schlickschicht gebildet haben. Sie können bisweilen leicht dadurch entwässert werden, daß man dem Wasser durch ein Durchstoßen der meist dünnen undurchlässigen Schicht nach unten Abfluß verschafft [2]). Bisweilen soll hierbei allerdings auch die Erscheinung „artesischer" Brunnen auftreten.

Die eigentümlichen Lageverhältnisse der südlichen Moore bringen es ferner mit sich, daß sie weit häufiger, als es bei den norddeutschen Mooren der Fall ist, vorteilhaft mit fruchtbarem, insbesondere kalkreichem Wasser bewässert werden können.

Auch die Höhenlage vieler süddeutscher, österreichischer und schweizerischer Moore (bis zu 2000 m über dem Meere), die infolgedessen lang andauernde Bedeckung mit Schnee und ferner die gewaltigen Niederschlagsmengen in den Gebirgsmooren (nach Schreiber 400—1800 mm gegenüber 400—700 mm in den norddeutschen Mooren) bedingen naturgemäß nicht selten eine andersartige Beurteilung ihres Kulturwertes.]

Eine *Besandung* des Moores ist bisweilen das einzige Mittel, um sehr trocken gelegte Flächen, bei denen eine Wasserhebung unausführbar ist,

[1]) S. darüber die sehr beachtenswerten Ausführungen von H. Schreiber-Staab in der 26. Mitgliederversammlung des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche, Heft 5/6 des Jahrgangs 1908 der Mitteilungen des genannten Vereins.

[2]) Gleiche Verhältnisse sind auch bei norsddeutchen Mooren mehrfach beobachtet worden. So berichtet u. a. A. Jentzsch (Protokoll der 5. Sitzung der Zentral-Moorkommission 1878) von ostpreußischen Mooren, die jetzt hoch über dem Grundwasser liegen, daß sie das zu ihrer Existenz nötige Wasser nur einer undurchlässigen Torf- oder Schlickschicht auf dem Grunde des Beckens verdanken und durch Senkbrunnen entwässert werden können. S. auch Fleischer, Moorwiesen und Weiden S. 22 (Literaturnachweis).

für den Grasbau geeignet zu machen[1]). Daß auch die fleißige Anwendung sehr schwerer Walzen mit Vorteil zur Anfeuchtung der trocken gewordenen obersten Moorschicht dienen kann, ist S. 170 erörtert worden.

Eine Übererdung auf ungenügend entwässerten Mooren ist ängstlich zu vermeiden. An Stelle der angestrebten Erhöhung des Bodens über den Wasserspiegel erzielt man damit namentlich bei tiefgründigen und unvollkommen zersetzten Mooren allermeist das Gegenteil, indem unter dem Druck der mineralischen Decke sich die Oberfläche senkt. Die Beeinträchtigung der Bodenwasserverdunstung (§ 88) durch das Aufbringen von Mineralboden hat, wenn nicht im ersten Jahre, so doch sicher in den folgenden das Auftreten von Sumpfgräsern zur Folge, die bald alle besseren Kulturpflanzen unterdrücken.

Nicht besandete Grasflächen kommen unter Umständen mit einer schwächeren Wassersenkung, als oben angegeben, aus, dann nämlich, wenn die das Moor durchsetzende Feuchtigkeit häufig durch frisches, Luftsauerstoff enthaltendes Wasser ersetzt wird. So kommt es nicht selten vor, daß ein nicht eingedeichter Wasserlauf eine Moorfläche durchströmt, der zeitweise die Entwässerungsgräben bordvoll laufen, aber bei sinkendem Wasserstande sich auch wieder entleeren läßt. In solchen Fällen kann sich bei im übrigen zweckmäßiger Behandlung neben einigen Sumpfgräsern ein üppiger Wuchs von wertvollen Futterpflanzen entwickeln, wenn dieser Wechsel häufig genug eintritt und durch entsprechende Anlage und Profilierung der Abzugsgräben ein schnelles Abfließen des schädlichen Wassers aus der Vegetationsschicht ermöglicht wird. Es ist ja nicht das Wasser an sich, sondern nur die *stauende* Nässe, das mit pflanzenschädlichen Stoffen beladene, des Luftsauerstoffs entbehrende Bodenwasser, das den Kulturpflanzen gefährlich wird.

Ob im übrigen die natürliche Vorflut ausreicht, um die oben angegebenen Entwässerungstiefen zu beschaffen, hängt keineswegs allein von der augenblicklichen, durch das Nivellement zu ermittelnden Höhenlage der Mooroberfläche ab. Durch die Kulturmaßnahmen und insbesondere durch die Entwässerungsanlagen kann, wie oben bereits angedeutet wurde, die Höhenlage der Oberfläche sehr erhebliche Änderungen erleiden. Weist die Torfsubstanz noch zahlreiche, mangelhaft vertorfte Pflanzenreste auf, wie das fast stets bei Mooren der Fall ist, die bisher ganz ohne Entwässerung lagen, so tritt schon mit der Abzapfung des Wassers ein Zusammensacken der aufgequollenen Torfmasse, eine Senkung der Oberfläche ein. Diese nimmt bei kräftiger Durchluftung des Bodens mit fort-

[1]) So gelang es der *Moor-Versuchsstation*, auf Moorflächen am Elb-Trave-Kanal, der den Wasserspiegel im Moor stellenweise bis auf 4 m unter Oberfläche gesenkt hat, mit Hilfe der Besandung eine Nutzung des Bodens als hochwertiges Grasland zu ermöglichen.

schreitender Vererdung um so schneller zu, je unvollständiger die Vertorfung war, je leichter zersetzlich die torfbildende Pflanzenmasse und je tiefgründiger das Moor ist (Peilungen!). Daß die Oberflächensenkung durch das Aufbringen von Mineralboden auf das Moor noch erheblich verstärkt wird, liegt auf der Hand.

Wenn nach den vorstehenden Erörterungen für die Beurteilung der Vorflutverhältnisse und für die Bemessung der Graben*tiefen* der Zersetzungszustand der Moorsubstanz von größter Bedeutung ist, so verlangt dieser auch bei der Abmessung der Graben*abstände* Berücksichtigung. Letztere müssen um so mehr eingeschränkt werden, je großer die Wasserkapazität des Moores ist, und da diese mit dem Gehalt des Torfes an unzersetzten (daher besonders stark kapillar wirkenden) Pflanzenteilen steigt, so bedarf ein wenig zersetztes Moor der Anlage zahlreicherer Gräben als ein bereits stark vererdetes.

Bei der großen Verschiedenheit, die die verschiedenen Moore hinsichtlich ihres Zersetzungszustandes und der größeren oder geringeren Zersetzlichkeit[1]) der torfbildenden Pflanzenteile aufweisen, lassen sich ziffermäßige Vorschriften für die Bemessung der Grabentiefen und Abstände für den einzelnen Fall nicht geben. Es muß dem Unternehmer überlassen bleiben, unter Berücksichtigung der allgemeinen Grundsätze und der anderwärts in gleichliegenden Fällen gesammelten Erfahrungen, seinen Entwässerungsentwurf aufzustellen und nach dessen Ausführung sorgfältig darüber zu wachen, ob die Abwässerungsanlagen im Lauf der Zeit einer Änderung bedürfen. Insbesondere auf nicht besandeten Mooren wird eine solche in den meisten Fällen, sei es durch das Verfallenlassen einzelner Gräben und durch Einlegung einfacher Stauvorrichtungen, sei es durch Vertiefung und Vermehrung der vorhandenen Gräben, leicht zu bewerkstelligen sein.

Für die Frage der Behandlung der entwässerten Moorflächen, ihrer Nutzungsart, der anzuwendenden Kulturmethoden, ihrer Düngung und der Auswahl der anzubauenden Pflanzen ist die Feststellung der *Moorart*, mit der man es im gegebenen Fall zu tun hat, unerläßlich.

Über den Charakter der *obersten* Moorschicht gibt allermeist die natürliche Flora sichere Auskunft. Besteht diese im wesentlichen aus Torfmoosen (meist im Verein mit Wollgräsern) oder — bei trockneren Mooren — aus den bekannten Heidepflanzen (Calluna vulgaris, Erica tetralix), denen bisweilen Rosmarinheide (Andromeda polifolia), Sumpfporst (Ledum palustre), Gagel (Myrica gale), Krähenbeere (Empetrum nigrum), Moos-

[1]) Dieselbe ist im allgemeinen größer bei den kalkreichen, niederungsmoorbildenden, geringer bei den hochmoorbildenden Pflanzen (§ 57).

beere (Vaccinium oxycoccus), Rauschbeere (Vaccinium uliginosum), Sonnentau (Drosera) vereinzelt, fast immer Torfmoose und Wollgras, von Holzpflanzen bisweilen Krüppelkiefern (Föhren) und Birken, beigemengt sind, so ist *Hochmoortorf* ihre unmittelbare Unterlage

Bilden dagegen Gräser, und zwar Sußgräser (hauptsächlich Festuca- und Poa-Arten, Phalaris arundinacea, Phragmites communis) und Ried- oder Sauergräser (hauptsächlich Carex-Arten, häufig vermischt mit Binsen [Scirpus], Schachtelhalm [Equisetum], Disteln [Carduus und Cirsium], Brennesseln [Urtica], Ranunkeln, Bitterklee [Menyanthes trifoliata] und vielen anderen Krautgewächsen, von Holzpflanzen · Erlen, Eschen, Weiden, Eichen, Fichten, Faulbaum u. a.) den Hauptbestandteil des naturlichen Pflanzenwuchses, so wurzelt dieser in einer *Niederungsmoor-Torfschicht.*

Für das *Übergangsmoor* ist ein aus hochmoor- und niederungsmoorbildenden Gewächsen gemischter Pflanzenbestand bezeichnend Neben den gewöhnlichen Heidearten finden sich dann, allermeist in größeren Mengen als auf dem reinen Hochmoor, Ledum palustre, Myrica gale [1]), Andromeda polifolia, Empetrum nigrum, Vaccinium oxycoccus, von Niederungsmoorpflanzen Blaugras („Pfeifengras“, „Benthalm“), bot. Molinia coerulea, Rasenschmiele (Aira caespitosa), verschiedene Seggenarten, Hypnummoose.

Wie weit sich die durch den Pflanzenbestand gekennzeichnete Torfschicht in die Tiefe erstreckt, kann mit Sicherheit nur durch die chemische und die botanische Analyse des Bodens selbst ermittelt werden. Jedoch bieten dem im Beobachten einigermaßen geübten Laien gewisse, auch dem unbewaffneten Auge sich nicht entziehende Pflanzenreste wichtige Anhaltspunkte für die Beurteilung. Die wohlerhaltenen gelben bis braunen, im unentwässerten Moor schwammähnlich mit Wasser vollgesogenen Torfmoose lassen den *jüngeren Moostorf* des Hochmoors deutlich hervortreten, und auch im *alteren*, im wesentlichen aus stark vertorften, dunkel gefarbten, dem bloßen Auge nicht mehr erkennbaren Sphagnum bestehenden *Moostorf* bringen die fast immer vorhandenen zähen Fasern des Eriophorum vaginatum sowie auch Bruchstücke von Heidestengeln und von Birken-[2]) und Kiefernholz Klarheit über die Art der betreffenden Torfschicht

Als ausgezeichnete „Leitfossilien“ fur *Niederungsmoortorf* können die Reste zahlreicher Seggen „„därmchenartige“ braune oder gelbe Wurzelstockhäute und ganz besonders die glänzende Oberhaut der Wurzelstocke und Stengel des Dachrohrs (Phragmites comm.) mit ihren charakteristischen Knoten dienen. Auch die infolge ihres hohen Kieselsäuregehaltes schwer

[1]) Myrica gale vorherrschend auf den Mooren des Westens, Ledum palustre auf denen des Ostens.

[2]) Besonders leicht an der silberglänzenden Rinde erkennbar.

vertorfenden Rhizome von Schachtelhalmpflanzen (Equisetum) mit anhängenden Wurzeln sind leicht zu erkennen und beweisen ebenso wie etwa vorkommende Stamm-, Ast- und Wurzelteile der besonders widerstandsfähigen Eiche das Vorhandensein von Niederungsmoortorf. Ebenso lassen gewisse, die Torfschicht durchsetzende oder nesterweise darin auftretende Ablagerungen mineralischer Natur: Ton, Lehm, Schlick, Wiesenkalk, Eisenocker, Wiesenerze (§ 26), Vivianit ohne weiteres auf den Niederungsmoorcharakter schließen.

Zugleich gibt das Vorkommen einiger dieser Mineralien wichtige Fingerzeige hinsichtlich der Düngung des Moores. Ist dieses reich an *Schlick*stoffen (in diesem Fall ist der Torf meist sehr stark zersetzt, er fühlt sich beim Zerreiben zwischen den Fingern „schliffig" an, der ausgetrocknete Torf besitzt ein auffallend hohes Gewicht und verbrennt unter Zurücklassung großer Aschenmengen), so deutet dies auf häufige Überflutungen des aufwachsenden Moores mit fruchtbarem Wasser hin, und es empfiehlt sich dann, die chemische Untersuchung der Bodenproben (s. u.) auf die Bestimmung des *Kali*gehaltes auszudehnen, die bei schlickfreien Moorproben in der Regel unterbleiben kann.

Das leicht erkennbare Vorhandensein von *Calciumkarbonat:* Wiesenkalk, Wiesenmergel (Aufbrausen beim Übergießen der Proben mit Säuren, auch mit Essig) läßt von vornherein eine Kalkung oder Mergelung des Moores als unnötig erscheinen.

Eisenreiche Moore pflegen sich zugleich durch einen hohen Gehalt an *Phosphorsäure* auszuzeichnen. Das Vorhandensein größerer Eisenmengen macht sich durch rötliche Färbung der bei starkem Eisengehalt meist gut zersetzten Torfsubstanz, besonders nach dem Abtrocknen (Maulwurfhügel, Grabenböschungen!), die gelb bis dunkelrote Farbe der Torfasche, das Auftreten von körnigem oder größere Stücke bildendem Raseneisenstein innerhalb des Moores, Überzug des aus dem Moor austretenden Wassers mit einem schillernden Häutchen und Abscheidung von gelbrotem Eisenschlamm (S. 44) bemerkbar. Hervorragend reich an Phosphorsäure ist das meist nesterweise, bisweilen aber auch in größeren Lagern auftretende Mineral *Vivianit* (S. 46). Es ist leicht erkennbar an seiner weißen Farbe, die schon bei kurzem Lagern an der Luft in Blau übergeht. Beim Übergießen mit Säuren braust es nicht auf (Unterschied vom Wiesenkalk!).

Ist der Moorboden auf größeren Flächen *gleichmäßig* mit Eisenverbindungen durchsetzt, so kann in sehr vielen Fällen von einer Düngung mit Phosphaten abgesehen werden.

Angeführt mag hier noch werden, daß die kalk- und eisenreichen Moore zum Austrocknen neigen und daher besondere Vorsicht bei der Entwässerung verlangen.

So schätzbar fur die Voruntersuchung die oben aufgefuhrten außeren Merkmale sind — und sie werden sich fur den dieser eigentumlichen und dankbaren Bodenart Interesse entgegenbringenden Kutlurtechniker bei wiederholter aufmerksamer Prüfung an Anzahl immer noch vermehren —, so wird doch der vorsichtige Landwirt und Techniker insbesondere bei Vornahme großerer Moorkulturen nicht auf eine eingehende *chemische*, *physikalische* und *botanische* Untersuchung des Moores verzichten wollen, wie sie nur von einer mit allen notigen Hilfsmitteln und insbesondere mit reichen Erfahrungen ausgestatteten Anstalt erfolgreich durchgefuhrt werden kann Daß hier fur norddeutsche Verhältnisse nur das Organ der *Zentral-Moor-Kommission* [1]), die vor 30 Jahren ins Leben gerufene *Moor-Versuchsstation* in Bremen, in Frage kommen kann, bedarf keiner näheren Begründung. Ihre *chemisch*-analytischen Untersuchungen geben über den Gehalt des Moores an wichtigen Stoffen Aufschluß Sie unterrichten den Landwirt daruber, ob es der Zufuhr von Kalk, von Stickstoff, von Phosphorsäure bedarf, in welchen Mengen, in welcher Form die einzelnen Pflanzennahrstoffe dem Boden zweckmaßig einzuverleiben sind, ob z B die Phosphorsäure in Form der billigeren, schwerer loslichen Phosphate gegeben werden darf. Sollte eine Besandung beabsichtigt werden, so werden die eingeschickten Sandproben auf einen etwaigen Gehalt an Schwefeleisen und dessen Abkommlingen (freie Schwefelsäure und Eisenvitriol, sowie auf ihre Kornigkeit, ihren Humus- und Tongehalt gepruft [2]).

Die *botanische* Prufung der Vegetation sowie der Bodenproben selbst klärt daruber auf, ob die erstere Pflanzen enthalt, auf deren Ausrottung bei Wiesen- und Weideanlagen Bedacht genommen werden muß [3]), oder welche

[1]) Die *Zentral-Moorkommission* ist eine im Jahre 1876 von dem damaligen Minister der landwirtschaftlichen Angelegenheiten, Dr. Friedenthal, als ein Mittelpunkt zur Sammlung, Begutachtung und Forderung aller das Moorwesen betreffenden Maßregeln begründete, vom Ministerium für Landwirtschaft, Domanen und Forsten ressortierende Zentralstelle. Ihr unterstellt ist seit 1877, als wissenschaftlich technisches Organ und als eine zur Forderung der Moorforschung und zur unmittelbaren Beratung der Moorinteressenten berufene Anstalt, die *Moor-Versuchsstation* in Bremen.

[2]) Von Humus schwarzgefarbte Sande sind als Bedeckungsmaterial fur Ackerkulturen möglichst zu vermeiden, auch der Tongehalt des Decksandes und seine Kornigkeit konnen in hohem Grade seine Brauchbarkeit beeinflussen (S. daruber die Ausfuhrungen von M. Fleischer in den Mitteilungen des Ver z. Ford. d. Moorkultur, Jahrg 1889, S 104, 1891, S. 92; 1896, S 182, 1897, S. 401 und von B. Tacke, ebenda, Jahrg. 1905, S. 131—132 Über die Prüfung des Decksandes auf giftige Stoffe S. 200)

[3]) So verschiedene Giftpflanzen: die schwer vertilgbare, auf süd- und mitteldeutschen Niederungsmooren bisweilen in großen Mengen auftretende Herbstzeitlose (Colchicum autumnale); gewisse Ranunkelarten: Scharfer Hahnenfuß (Ranunculus acer), Sumpfdotterblume (Caltha palustris) Besondere Aufmerk-

einen Umbruch des Bodens wünschenswert erscheinen lassen und welche Böden hierfür besonders eingreifende Geräte verlangen[1]). Die botanische Untersuchung der Bodenproben läßt erkennen, ob die torfbildenden Pflanzen für das zu wählende Kulturverfahren bereits genügend zersetzt sind, und ob die bevorstehenden Entwässerungs- und Durchluftungsmaßnahmen eine schnelle oder langsame Humifizierung der Moorsubstanz erwarten lassen, Ergebnisse, die, wie oben erörtert wurde, für die Beurteilung der Vorflutverhältnisse, für die Entscheidung über Grabenprofile und Grabenabstände, über Anwendung der Sanddeck- oder der Sandmischkultur maßgebend sein müssen.

Die *physikalische* Untersuchung beschränkt sich für gewöhnlich auf die Bestimmung des *Volumgewichts* (§ 98) des Bodens und dient zur Feststellung des Dichtigkeitszustandes und zur Berechnung des den Kulturpflanzen gebotenen Vorrats an Bodennährstoffen. Diese Ermittelung ist bei der Untersuchung von Moorboden kaum zu umgehen. Während man bei der Analyse mineralischer Böden aus den Zahlen, die den prozentischen Gehalt des von Wasser freigedachten Bodens ausdrücken, unmittelbar eine Vorstellung von den vorhandenen Nährstoffmengen sich bilden kann, würde ein Vergleich dieser Zahlen mit den in gleicher Weise gewonnenen Gehaltszahlen für Moorböden zu groben Täuschungen führen.

Versteht man unter Volumgewicht das Gewicht an festen Stoffen, welche ein gewisses Bodenvolum, z. B. 1 cbm, bei einem den natürlichen Verhältnissen entsprechenden Wassergehalt enthält (S. 159), so liegt das Volumgewicht von Mineralboden etwa zwischen 800 und 1500 kg, das der Moorböden dagegen etwa zwischen 120 und 250 kg. Es stehen mithin auf dem Moorboden — auch abgesehen davon, daß ihr Wurzelgebiet hier ein beschränkteres zu sein pflegt — den Wurzeln der Kulturpflanzen

samkeit verlangt der sehr lästige Sumpfschachtelhalm („Duwock", „Kattensteert", „Hermus") bot. Equisetum palustre, der nicht selten gerade auf den besten und im übrigen mit erstklassigen Futterpflanzen bestandenen Niederungsmooren auftritt und sie geradezu entwerten kann.

[1]) Die wichtige Frage, ob der Anlage von Grasflächen ein völliger Umbruch des Moores vorausgehen muß oder ob man sich auf ein „Wund"eggen der vorhandenen Grasnarbe und eine schwache Neuansaat beschränken darf, wird allermeist nach der Beschaffenheit der augenblicklichen Pflanzendecke zu entscheiden sein. Enthält diese viele schwer vertilgbare Unkräuter (Disteln, darunter besonders die Öldistel, „Pferdekohl", „Wiesenkohl", bot. Cirsium oleraceum, die Sumpfkratzdistel, C. palustre, ferner Brennesseln mit ihrem starken Bewurzelungsvermögen u. a.), bilden die vorhandenen Gräser zähe Horste und stark verfilzte, den gewöhnlichen Acker- und Wieseneggen nicht zugängliche Wurzelmassen (Blaugras, Molinia coerulea, Rasenschmiele, Aira caespitosa u. a.), so wird zur Schaffung eines guten Keimbettes für die Neusaat von einem Umbruch und von der Anwendung besonders energisch wirkender Umbruchsgeräte nicht abgesehen werden können.

weit weniger feste Bodenbestandteile zur Verfügung als auf Mineralboden Ergibt daher beispielsweise die Bodenanalyse, daß ein fruchtbarer Lehmboden (mit einem Volumgewicht von 1000 kg) in der Trockensubstanz 0,25 % Stickstoff, ein trocken gedachter Hochmoorboden (mit einem Volumgewicht von 120 kg) 0,75 % Stickstoff enthält, so darf daraus keineswegs geschlossen werden, daß in letzterem den Pflanzen dreimal so viel Stickstoff zur Verfugung gestellt wird als in ersterem Vielmehr laßt sich aus dem Volumgewicht erkennen, daß in einem Kubikmeter Lehmboden 2,5 kg, in einem gleichen Bodenraum des an Stickstoffprozenten weit reicheren Hochmoorbodens aber nur 0,9 kg Stickstoff enthalten sind

Die chemischen, physikalischen und botanischen Untersuchungen können zu maßgebenden Schlussen naturlich bloß dann fuhren, wenn die untersuchten Proben den *Durchschnitt* der zu prufenden Flächen darstellen Um eine einwurfsfreie Probenahme möglichst zu sichern, sind von der Moor-Versuchsstation zu Bremen besondere Vorschriften ausgearbeitet worden Sie finden sich am Schluß dieses Kapitels als „Anhang“ abgedruckt

Bei Beachtung der oben dargelegten Gesichtspunkte werden Landwirt und Kulturtechniker aus einer sorgfältigen Untersuchung der Wasser-, Boden- und Vegetationsverhältnisse eine möglichst zuverlassige Unterlage zur Beurteilung des Kulturwertes des vorliegenden Moores und zur Entscheidung der Frage gewinnen, ob es sich zur Verwendung als *Acker*, *Wiese*, *Weide*, als *Gartenland* oder *Holzboden* eignet Daß das Wesen des Moorbodens dem Gedeihen von Waldbaumen keine grundsätzlichen Hindernisse bereitet, beweist das Vorkommen mächtiger Holzstamme in den tieferen Torfschichten vieler Moore, die oft nachweislich im Moorboden selbst gewurzelt haben, und ferner das vielfach noch heute zu beobachtende fröhliche Wachstum zahlreicher Holzarten auf dem Moor Auf der anderen Seite stoßt die waldbauliche Nutzung nicht nur des Hochmoors, sondern auch der an Pflanzennährstoffen weit reicheren Niederungsmoore auf Schwierigkeiten, die zum Teil wohl in der noch herrschenden Unklarheit uber die geeigneten Kulturmethoden, hauptsachlich aber in den hohen Kosten der Entwasserung, Bodenbearbeitung, Dungung und Pflege der Anlagen beruhen. Wenn man diese in einzelnen Fällen, beispielsweise wo es sich um die Gewinnung besonders wertvoller Holzpflanzen (z B. von Korbweiden) oder um den Anbau von Zierhölzern, um die Anlage von Schutzpflanzungen handelt, nicht scheuen wird, so lassen sie doch eine ausgedehnte Verwendung unserer Moore fur den Waldbau nicht mehr als rentabel erscheinen [1]).

[1]) Siehe u. a. die Mitteilungen des Koniglichen Forstmeisters Krahmer-Schmolsin in den Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reich, Jahrg. 1908, S. 42 ff.

Gunstigere Aussicht bietet die Verwertung, insbesondere auch des Hochmoors, für den Anbau von Gartenpflanzen [1]), Gemüsen, Obst, von Ziersträuchern (Koniferen, Rhododendren, Azaleen u. a.), wie er seit langer Zeit in den niederländischen Provinzen Groningen und Drenthe mit ausgezeichnetem Erfolg betrieben wird und auch in den nordwestdeutschen Mooren bereits Eingang gefunden hat.

Die vorstehenden Erörterungen werden weiterhin den aufmerksamen Leser davon überzeugt haben, wie wichtig die peinlichste Prüfung aller vorliegenden natürlichen Verhältnisse ist, bevor man sich zur Herstellung von *Sanddeck-* oder *Sandmischkulturen* auf dem Moor entschließt.

Daß bei der Kostspieligkeit derartiger Anlagen auch die ihre Rentabilität beeinflussenden *wirtschaftlichen* Vorbedingungen einer gründlichen Untersuchung bedürfen, kann an dieser Stelle nicht näher besprochen werden, soll aber auch nicht unerwähnt bleiben [2]).

[1]) Siehe u. a. die Vorschläge des Ökonomierats Echtermeyer-Dahlem („Gärtnerei auf Moor") in den Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reich, Jahrg. 1908, S. 50 ff, sowie dessen Schrift: Gartenbau auf Moorboden, Berlin 1911, P. Parey, ferner die Veröffentlichungen von A. J. Werth in den Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur, Jahrg. 1913—1922.

[2]) S. darüber u. a. M. Fleischer, Über intensive Moorkultur, Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur, Jahrg. 1895, S. 97 ff., und ferner W. Beseler, Ackerkultur auf Moorboden, ebenda, Jahrg. 1908, S. 24 ff.

Anhang.

Anweisung der Moor-Versuchsstation Bremen zur Entnahme von Bodenproben behufs chemischer und physikalischer Untersuchung [1]).

Da die chemischen und physikalischen Eigenschaften der fur die Kultivierung bestimmten Moore das Gedeihen der Kulturen wesentlich beeinflussen und sehr häufig fur die Art und Weise der Benutzung maßgebend sind, so ist es unerläßlich, vor der Inangriffnahme irgend welcher Kultur auf Flächen, über deren Verwertbarkeit genügende Erfahrungen noch nicht vorliegen — neben Feststellung der Wasserverhältnisse und sonstiger die Vegetation beeinflussender Faktoren —, den Boden auf seine chemische Zusammensetzung und diejenigen physikalischen Eigenschaften zu prufen, welche fur das Pflanzenwachstum besonders wichtig sind

Soll aber die Untersuchung einwurfsfreie Resultate ergeben, so ist es vor allem geboten, bei der Entnahme der Proben die großte Sorgfalt und alle Vorsichtsmaßregeln zu beachten, um denselben den Charakter der *Durchschnittsproben* zu sichern

Zu dem Zwecke stelle man zunächst durch Beobachtung des augenblicklichen Pflanzenwuchses und der äußeren Bodenbeschaffenheit fest, ob die in Betracht kommenden Ländereien

a) einen einheitlichen Charakter tragen,
b) bedeutende Verschiedenheiten aufweisen.

Im Falle a verteile man die Probennahme gleichmäßig uber die ganze Flache in der Weise, daß man an möglichst vielen Stellen die lebende Bodennarbe moglichst *flach* abschält und

1. Proben von etwa 1—2 kg von der Oberfläche bis zu 20 cm Tiefe,
2. Proben von etwa 1—2 kg von 20 cm Tiefe bis zur Sohlentiefe der vorhandenen oder noch zu ziehenden Entwasserungsgraben aushebt
3. Fur den Fall, daß die Gräben überall oder an einzelnen Stellen schon in den mineralischen Untergrund einschneiden, halte man den (ebenfalls einzusendenden) mineralischen Teil (Probe 3) von dem moorigen Teil der Probe 2 gesondert

[1]) Die von der Moor-Versuchsstation zu beziehende Vorschrift enthalt auch Anweisungen über die Entnahme von Moorproben behufs Untersuchung auf ihre Tauglichkeit zur Torfstreu- und Brenntorfbereitung. Auch gibt sie Auskunft über die Untersuchungskosten.

Samtliche Einzelproben aus der Oberflächenschicht (unter 1) werden auf das sorgfältigste durcheinander gemischt, daraus ein Durchschnittsmuster von mindestens 2—3 kg entnommen und in einen vorher mit unauslöschlicher Farbe numerierten *reinen* Beutel verpackt. Ebenso gewinnt man je eine Durchschnittsprobe aus den tieferen Schichten (unter 2 und 3).

Im Falle b verfahre man auf jeder einzelnen der untereinander verschiedenen Flachen fur sich genau wie auf Fläche a und entnehme somit weitere Durchschnittsproben. 1 a, 2 a usw., 1 b usw.

Ist der Moorstand geringer als 20 cm, so ist in der angegebenen Weise je eine Durchschnittsprobe aus der eigentlichen Moorschicht und aus dem mineralischen Untergrunde zu nehmen.

Finden sich in der Nähe des Moores oder in erreichbarer Tiefe des Untergrundes mineralische Bodenarten: Sand, Lehm, Mergel, Wiesenkalk u. dgl, die moglicherweise fur die Melionerung des Moorbodens Bedeutung gewinnen konnten, so sind auch hiervon Durschchnittsproben von 1—1½ kg zu entnehmen und mit einer genauen Beschreibung der Lagerungsverhältnisse, des raumlichen Umfanges usw. zu versehen

Fragebogen.

1. Zu welchem Moorkomplex gehören die fraglichen Moorländereien?
2. In welchem Flußgebiet liegen sie?
3. Regierungsbezirk und Kreis?
4. Gemeinde (Feldmark, Flurbezeichnung, Katasternummer).
5. Ist die Fläche bereits zu Torfstich benutzt worden, und welche Eigenschaften hat der Torf? Verbrennt er ohne unangenehmen Geruch?
6. Ungefähre Große der zu untersuchenden Flächen·
7. Ungefähre Größe des ganzen Moorgebietes:
8. Durchschnittliche Tiefe des Moorstandes:
9. Größte und kleinste Tiefe des Moorstandes:
10. Kommen in der Nähe des Moores oder in erreichbarer Tiefe mineralische Bodenarten vor und welche?
11. Tragt die Fläche ihrer Vegetation nach einen einheitlichen Charakter oder zeigen sich größere Verschiedenheiten?
12. Welche Gewachse trägt das unkultivierte Moor?
13. Ist die Fläche bereits ganz oder zum Teil landwirtschaftlich benutzt und gedungt worden, und wie?
14. (Event.) Welche Gewachse sind besonders gut gediehen, welche nicht?
15. Wie tief steht vor der Melioration durchschnittlich das Grundwasser?
16. Bis zu welcher Tiefe laßt sich die fragliche Fläche durch die Melioration entwässern?
17. Welche Art der Melioration ist beabsichtigt (Ackerbau, Wiese, Weide)?

Die Proben sind *in frischem Zustande, gut und jede für sich verpackt*, zur Untersuchung an die Moor-Versuchsstation in Bremen einzusenden.

Es ist wünschenswert, daß von jeder zu untersuchenden Fläche ein etwa 30 cm langes und breites Stück der ursprünglichen Bodennarbe (Gras-, Heide-, Moosnarbe oder dgl.) mit den darauf befindlichen Pflanzen in unverletztem Zustande eingesandt wird. Die Auswahl des Narbenstuckes ist so zu treffen, daß dadurch eine einigermaßen richtige Vorstellung von dem durchschnittlichen gegenwartigen Pflanzenbestande der Moorfläche gewonnen werden kann. Ist dieser Bestand sehr verschieden, so sollten, falls nicht überhaupt Fall b der Probenahme Platz greift, mehrere Narbenproben von derselben Fläche eingesandt werden. Die Narbenproben werden am zweckmäßigsten nach der Entnahme mit einer Bezeichnung versehen, in besondere Kistchen verpackt und moglichst bald mit der Post abgeschickt, damit die Pflanzen in noch erkennbarem Zustande eintreffen.

Wenn die Anlage von Dauerweiden oder -wiesen beabsichtigt wird, ist es von allergrößter Wichtigkeit, mehrere derartige Narbenstucke von jeder Fläche einzusenden, und zwar bei Unterschieden im Niveau der einzelnen Fläche mindestens je eines von dem hoheren und von dem tieferen Teile. Befinden sich in der Nahe auf demselben Boden gute Dauerweiden oder -wiesen, so ist es sehr erwunscht, daß auch von diesen eine charakteristische Narbenprobe oder eine etwa 1 kg große Durchschnittsprobe des Heues eingereicht wird.

Da durch die Herstellung der unter 1 genannten Mischprobe die naturliche Lagerung und Struktur des Moorbodens unter Umständen stark geändert werden kann, ist ferner noch die Einsendung mindestens eines, besser mehrerer Bodenwürfel von 10 cm Kante aus der Oberflächenschicht des Moores bis 20 cm Tiefe, welche die durchschnittliche Beschaffenheit der Oberfläche in ungestörter Lagerung darstellen, anzuraten.

Es muß mit Rücksicht darauf, daß die Probenahme vielfach nicht genau nach vorstehender Anweisung geschieht, ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß nur streng nach Vorschrift genommene Proben der Untersuchung unterzogen werden. Insbesondere ist, wenn auch Narbenproben mit einer stärkeren Schicht anhaftender Bodenmasse eingesandt werden, die Herstellung vorschriftsmäßig entnommener *Durchschnittsproben* der Oberflächenschicht nicht zu unterlassen.

—

Benutzte Literatur.

Alves u. a., Die Moorbesiedelung in Vergangenheit und Zukunft Berlin, P. Parey, 1920.

Appelt, E., Pflanze und Boden. Breslau, W. G. Korn, 1889.

Baumann, A., Moore und Moorkultur in Bayern. Forst- und naturwissenschaftl. Zeitschr., München 1894—1898.

— Berichte über die Arbeiten der Königlich bayerischen Moorkulturanstalt München, Rieger, 1905—1910.

— Mitteilungen der Königlichen Moorkulturanstalt. Stuttgart, Ulmer, 1907.

Berendt, G., Abhandlungen zur geologischen Spezialkarte, Bd. II, Heft 3; Bd. III, Heft 3 u. a.

Bersch, W., Handbuch der Moorkultur. 2. Aufl. Wien und Leipzig, W. Frick, 1912.

Biedermann, R., Beiträge zu der Frage der Bodenabsorption. Chemnitz, E. Focke, 1869.

— Centralblatt für Agrikulturchemie. Jahrg. 1872—1920. Leipzig, O. Leiner

Braungart, R., Die Wissenschaft in der Bodenkunde. Berlin u. Leipzig 1876.

Credner, Elemente der Geologie. 10. Aufl. Leipzig, W. Engelmann, 1906.

Detmer, W., Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der allgemeinen landwirtschaftlichen Bodenkunde. Leipzig und Heidelberg, C. F. Winter, 1876.

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Mitteilungen, Bd. 1—36, Jahrg. 1876—1922.

Ehrenberg, P., Die Bodenkolloide Eine Ergänzung für die üblichen Lehrbücher der Bodenkunde, Düngerlehre und Ackerbaulehre. 2. Aufl. Dresden und Leipzig, Th. Steinkopf, 1918.

Fesca, M., Die agronomische Bodenuntersuchung und -kartierung. Berlin, Paul Parey, 1879

— Beiträge zur agronomischen Bodenuntersuchung und -kartierung. Berlin, Paul Parey, 1882.

Fischer, H., Vorlesungen über Bakterien. Jena, G. Fischer, 1903.

— Über Probleme der Bodenbakteriologie. Deutsche Landw. Presse 1908, Nr. 20, 21.

von Fischer-Benzon, Die Moore der Provinz Schleswig-Holstein. Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Hamburg, Bd. XI, Heft 3.

Fleischer, M., Mitteilungen über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation in Bremen, I, II, III Berlin, Paul Parey, 1883, 1886, 1891.

— Die Torfstreu, ihre Herstellung und Verwendung Bremen, M Heinsius Nachf., 1890 Jetzt Berlin, Paul Parey.

— Anlage und Bewirtschaftung von Moorwiesen und Moorweiden, 3. Aufl. Berlin, Paul Parey, 1921

— Zahlreiche Berichte in den Protokollen der Zentral-Moorkommission und in den Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur. Berlin, Paul Parey

Fleischer, M. u. a., Die Entwicklung der Moorkultur in den letzten 20 Jahren (Festschrift). Berlin, Paul Parey, 1908.
Franke, H., Geologisches Wanderbuch für Thüringen. Stuttgart, F. Enke, 1912.
Früh, J., Torf und Dopplerit. Zürich, J. Wurster, 1883
— und Schröter, C., Die Moore der Schweiz. Bern 1904
Gräbner, P., Handbuch der Heidekultur. Leipzig, W. Engelmann, 1904.
— Die Heide Norddeutschlands. Leipzig, W Engelmann, 1901.
Griesebach, Uber die Bildung des Torfs in den Emsmooren. Göttinger Studien 1845. Gottingen 1846.
Gruner, H., Grundriß der Gesteins- und Bodenkunde Berlin, Paul Parey, 1896.
— Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte. Blatt Lohm Berlin, Paul Parey, 1896.
Hellriegel, H., Grundlagen des Ackerbaues Braunschweig, F. Vieweg & Sohn, 1883.
— und Wilfarth, H, Untersuchungen über die Stickstoffernährung der Gramineen und Leguminosen. Zeitschrift des Vereins für Rübenzucker-Industrie Berlin 1888
Henneberg, W., Journal f. Landwirtschaft, Jahrg. 1853—1922. Berlin, Parey.
Jahrbuch der preußischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie, 1900 bis 1904.
Jentzsch, A., Die Moore der Provinz Ostpreußen Protokoll der 5 Sitzung der Zentral-Moorkommission. Berlin 1878.
Keilhack, K., Einführung in das Verständnis der geologisch-agronomischen Spezialkarten des norddeutschen Flachlandes. Berlin 1901
Knop, Der Kreislauf des Stoffs. Leipzig, H. Haessel, 1868.
— Die Bonitierung der Ackererde. Leipzig, H. Haessel, 1872.
Kohlenberg, A, Das schwimmende Land von Waakhausen. Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen, Bd XV, 1897.
König, J, Die Pflege der Wiesen. Berlin, Paul Parey, 1893
— und Böhmer, C., Über die Veränderungen und Wirkungen des Rieselwassers bei der Berieselung. Landwirtschaftl. Jahrbücher 1882—1885.
Koppens, J., und Bersch, W., Zeitschrift für Moorkultur und Torfverwertung. Jahrg 1903 – 1907.
Kreusler, U., Lehrbuch der Chemie. Berlin, Paul Parey, 1880.
Krische, P, Verwertung d. Kalis in Industrie u. Landwirtschaft. Halle a. S. 1908.
Krüger, E., Kulturtechnischer Wasserbau In R. Otzens Handbibliothek für Bauingenieure. Berlin, J. Springer, 1921.
Lemberg, J., Über Silikat-Umwandlungen Inaugural-Dissertation. Dorpat 1877.
Lorenz, J. R., Über Torfbildung. Entstehung, Verwendung, Wiedererzeugung des Torfs. Salzburg 1854.
— Eine interessante Moorschichtenfolge Zeitschrift Flora, 46. Jahrg. 1858, Nr. 14—23. Auch Mitt. des Vereins z. F. d. Moorkultur, Jahrg 1909, Heft 9.
Mayer, Ad, Lehrbuch der Agrikulturchemie, 3. Aufl. Heidelberg, C Winter, 1886.
Meitzen, A., Der Boden und die landwirtschaftlichen Verhältnisse des Preußischen Staates, Bd. V. Berlin, Paul Parey, 1894
Mitscherlich, A., Untersuchungen über die physikalischen Bodeneigenschaften. Habilitationsschrift. Merseburg 1901.

Mitscherlich, Bodenkunde für Land- und Forstwirte, 3 Aufl. Berlin, Paul Parey, 1913.

Müller, Arthur, Allgemeine Chemie der Kolloide. Leipzig, Barth, 1907.

Nobbe, F., Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen, Jahrg 1859—1922. Berlin, Paul Parey.

Noeggerath, J., Der Torf. Virchow und v. Holtzendorff, Sammlung wissenschaftlicher Vorträge. Berlin 1875, Ser. X, Heft 230.

Noll, F., Pflanzenphysiologie und Schenck, H, Kryptogamen in Lehrbuch der Botanik von Straßburger, Noll, Schenck und Karsten, 9. Aufl. Jena 1908.

Orth, A., Beiträge zur Bodenuntersuchung. Berlin, S. Calvary & Co., 1868.

— Kalk- und Mergeldüngung. Berlin, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, 1896.

Ramann, E., Bodenkunde, 3. Aufl. Berlin, J. Springer, 1911.

— Die v. Postschen Arbeiten über Schlamm, Moor, Torf und Humus. Landwirtschaftliche Jahrbücher, Berlin 1888

— Anzahl und Bedeutung der niederen Organismen im Wald- und Moorboden. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, Berlin 1899.

— Organogene Ablagerungen der Jetztzeit. Neues Jahrbuch für Mineralogie usw. Bd. X.

Ramsay, W., und Huth, M., Moderne Chemie. Halle a. S., W. Knapp, 1906.

Rimpau, Th. H, Die Bewirtschaftung des Rittergutes Cunrau. Berlin, Paul Parey, 1887.

von Rosenberg-Lipinski, A., Der Praktische Ackerbau. Breslau 1890.

Roth, J., Allgemeine u. chemische Geologie. Berlin, W Hertz, 1879, 1887, 1893

— Flußwasser, Meerwasser, Steinsalz. Virchow und v. Holtzendorff, Sammlung wissenschaftlicher Vorträge, Serie XIII, Heft 306.

Ruska, J., Leitfaden der Mineralogie. Leipzig, Quelle & Meyer, 1921.

Sachße, R., Lehrbuch der Agrikulturchemie. Leipzig, H. Haessel, 1888.

Salfeld, A., Die Kultur der Heideflächen. Hildesheim, Gerstenberg, 1882.

— Die Bodenimpfung. Bremen, M. Heinsius Nachf., 1896. Jetzt Paul Parey.

Schacht, T, Einiges uber die Entstehung der Moore. Blätter fur Moorkultur, Torfverwertung und Meliorationswesen. Deutsche Landwirtschaftliche Presse, Jahrg. X, Nr. 50.

Schmidt, C., Chemische Untersuchung der Schwarzerden. Baltische Wochenschrift, Dorpat 1880, 1881.

Schmoeger, M, Über den Phosphor im Moorboden Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, Jahrg. XXVI, Heft 3.

— Untersuchungen über einige Bestandteile des Moores. Landwirtschaftliche Jahrbücher, Berlin 1896.

Schreiber, H., Österreichische Moorzeitschrift, Jahrg. 1900—1907.

von Seelhorst, C., Acker- und Wiesenbau auf Moorboden, 2. Aufl. Berlin, Paul Parey, 1892.

Sendtner, O., Die Vegetationsverhältnisse Süd-Bayerns. München 1854.

Senfft, F., Die Humus-, Marsch-, Torf- und Limonitbildungen. Leipzig, W. Engelmann, 1862.

— Der Erdboden nach Entstehung, Eigenschaften und Verhalten zur Pflanzenwelt. Hannover, Hahn, 1888

Svenska Mosskultur Föreningens. Tidskrift, Jahrg. 1887—1921.

Tacke, Br., Mitteilungen über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation in Bremen, IV, V. Berlin, Paul Parey, 1898 u. 1913.

Tacke, Br., Jahrbuch der Moorkunde, Jahrg. 1912—1920. Hannover, M. & H. Schaper.

— Mitt. über die Arbeiten der Marschkulturkommission, 1. Ber. Berlin, Paul Parey, 1920.

— Zahlreiche Berichte und Abhandlungen in den Protokollen der Zentral-Moorkommission und in den Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur

Verein zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche, Mitteilungen des Jahrg 1883—1922. Verl d. Deutsch. Tageszeitung, Berlin.

Voßler, O, Die Begründung der landwirtschaftlichen Bodenkunde durch die heutige Geognosie. Festrede. Hohenheim 1868

Wahnschaffe, F, Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung, 2. Aufl. Berlin, Paul Parey, 1903

Walter, J., Vorschule der Geologie, 5. Aufl., Jena, G Fischer, 1912

— Geologische Heimatkunde von Thüringen Jena, G Fischer, 1913.

Weber, C. A, Uber die Vegetation und Entstehung des Hochmoores von Augstumal im Memeldelta. Berlin, Paul Parey, 1902.

— Bericht über die Tätigkeit des Botanikers der Moor-Versuchsstation. Protokolle der Sitzungen der Zentral-Moorkommission. Berlin, Paul Parey, 1897.

— Über die Vegetation zweier Moore bei Sassenberg in Westfalen. Abhandlungen des naturwissenschaftl. Vereins zu Bremen, Bd. XIV, Heft 2.

— Über die fossile Flora von Honerdingen usw. Zur Kritik interglazialer Pflanzenablagerungen Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen, Bd. XIII, Heft 3

— Zahlreiche Mitteilungen in verschiedenen Zeitschriften.

Wicke, H, Eine Exkursion nach dem schwimmenden Lande von Waakhausen. Journal für Landwirtschaft, Jahrg. 1868.

Wohltmann, F, Die chemische Untersuchung des Bodens und ihre Bedeutung für die Bonitierung des Ackers Illustr. Landw. Zeitung, 19. Jahrg, 1899, Nr 84 u 85.

Wolff, E., Der grobsandige Liaskalkstein von Ellwangen Stuttgart, E. Schweitzer, 1871.

— Der weiße Jura. Stuttgart, E. Schweitzer, 1878.

Wollny, E., Zahlreiche Abhandlungen in der Zeitschrift „Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik". Heidelberg, C. Winter, 1878—1898.

Zentral-Moorkommission, Protokolle der Sitzungen der. Jahrg. 1876—1922 Berlin, Paul Parey

Nachweis der im Text genannten Autoren.

Sachverzeichnis.